

CdS 센서를 이용한 액정 광변조 X-선 검출 시스템 개발

노시철*, 강상식*, 정봉재*, 최일홍*, 김현희**, 조창훈*, 박준홍***, 박지군*

한국국제대학교 방사선학과*, 한국국제대학교 소방방재학과**, 삼성창원병원 영상의학과***

Development of Liquid Crystal Optic Modulation Based X-ray Dosimeter by Using CdS Sensor

Sicheol Noh*, Sangsik Kang*, Bongjae Jung*, Ilhong Choi*, Hyunhee Kim**,
Changhoon Cho*, Junhong Park**, Jikoon Park*

Department of Radiological Science, International University of Korea,
Department of Disaster Prevention Engineering, International University of Korea**,
Department of Radiology, Samsung Changwon Hospital****

요약

본 연구에서는 II-IV 족 화합물 반도체인 CdS를 이용한 액정광변조 방식의 X-ray 검출 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 검출부, 신호처리부, 액정 구동 및 투과량 측정부, 마이크로컨트롤러부, 입출력부로 구성되었으며, 소형화 및 휴대성에 적합하게 제작되었다. 또한, 검출 범위 선택을 통하여 광범위한 조건에서 측정이 가능하도록 구성하였다. 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 조사선량 변화에 따른 CdS 센서의 출력 특성을 확인하였으며, 우수한 상관관계를 확인할 수 있었다. 또한, 인가전압에 따른 액정의 변화를 관찰하여 인가 전압에 따른 광투과율을 측정하였으며, 높은 상관관계와 우수한 재현성을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통하여 본 연구에서 제안된 액정 광변조 방식의 특징인 우수한 재현성과 노이즈 내성 특성을 확인할 수 있었으며, 본 연구를 통하여 제안된 CdS 셀 기반 광변조 방식의 휴대형 X선 검출 시스템이 소형, 저가형, 휴대형 시스템으로 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

중심단어: 광변조, 액정, CdS, 휴대형 X선 검출기

Abstract

In this study, the liquid-crystal optical modulation X-ray detection system using a CdS which is a family of II-IV compound semiconductor was proposed. The system consist of the detector, the signal processing part, the liquid-crystal driving parts, microcontroller, and I/O parts, and was designed to be suitable for miniaturization and portable. In addition, the system can measure a wide range X-ray by using the detecting range selection. In order to evaluate the performance of the proposed system, the CdS sensor's output characteristics were confirmed in accordance with changes of dose, and excellent correlation was determined. And also, the optical penetration ratio was discussed in accordance with changes of the applied voltage by measuring the change of the liquid-crystal in accordance with changes of the applied voltage. Through these results, the characteristics of the liquid-crystal optical modulation system such as the excellent reproducibility and the noise immunity were confirmed. And we considered that the CdS cell-based liquid-crystal optical modulated portable X-ray detection system could be applied to compact, low-cost, portable system.

Key Words : optic modulation, liquid crystal, CdS, potable dosimeter

I. 서론

액정 광변조 방식이란 입사되는 광량에 따라 발생되는 유도전류를 이용하여 액정층을 여기 시킨 후 여기된 액정층을 투과율 변화를 측정하여 정량적인 입사광량을 측정하는 방법을 말한다. 이러한 액정 광변조 방식은 측정 재현성이 우수하고 노이즈에 강하다는 장점을 갖고 있다^[1]. 한편, 휴대형 X선 검출장치에 빈번하게 사용되는 II-IV 족 화합물 반도체인 CdS는 반응 특성이 느리다는 단점을 갖지만, 일반적으로 고감도 특성을 가지며 제작이 용이하고, 작고 가볍기 때문에 소형화, 휴대형으로 제작이 가능하다는 장점을 갖는다^[2]. 이러한 액정 광변조 방식과 CdS 셀의 특징은 소형, 저가형, 휴대형 시스템으로 적용 가능성이 매우 높다^[3]. 또한, 방사선 기술의 발전과 더불어 방사선에 대한 방호 역시 신중한 고려의 대상으로 논의되고 현시점에서 신뢰성 높고, 노이즈에 강하며, 저가의 휴대형 X선 검출기에 관한 연구는 필요하다^[4-6]. 이에 본 연구에서는 광도전체인 CdS를 이용한 액정 광변조방식의 휴대형 X선 검출기를 제안하였으며, CdS 셀의 X선 검출 특성을 분석하고 액정셀의 광투과 특성을 측정하여 제안된 시스템의 유효성을 평가하였다.

II. 시스템 설계 및 제작

본 연구에서 개발된 광변조 방식의 X선 검출 시스템은 크게 검출부, 신호처리부, 액정 구동 및 투과도 측정부, 컨버터를 내장하는 마이크로컨트롤러부, 입출력부로 구성하였다. 액정 투과광 검출부는 불필요한 노이즈 발생을 방지하기 위하여 암통의 형태로 제작하였으며 독립적으로 탈부착이 가능하도록 하였다. 또한 검출된 X선량 표시 및 측정범위 설정, 경보기준 설정이 가능하도록 구성하였다.

개발된 시스템의 신호 검출부에는 CdS에 연결되는 부하저항을 500 KΩ, 100 MΩ, 1.3 GΩ 으로 설정할 수 있도록 하여 검출범위를 확장시키고 측정 분해능을 향상시켰다. 검출부의 출력 범위는 100 - 300 mV로 측정되었으며, 액정 구동을 위한 동작 범위로 매칭 시켜주기 위하여 15배 이득의 증폭회로를 추가하였다. 검출의 최소 분해능 및 정확도를 높이고 시스템 내부

의 60Hz 노이즈 성분 제거하기 위하여 LMF90CCN (National Semiconductor 社, SMD type) 소자를 이용하여 4차 Elliptic Notch Filter를 구성하였다. 액정층을 통과하는 광량 신호는 포토트랜지스터(oscar 社, OST-1KLB 모델)를 이용하여 측정하였으며, 출력의 정확성 및 안정성 향상을 위하여 AMC7140(ADDtek Corp., Taiwan)을 이용한 정전류원 회로를 구성하였다(순시 전류 98 mA). OST-1KLB는 범용의 포토트랜지스터로써 컬렉터측의 암전류는 1 nA, 명전류(2000 Lux 조건)는 6 mA, 스위칭 시간은 최대 10 us로 확인되었다. 시스템 제어는 ATmega8535(Atmel Corp., USA) 마이크로컨트롤러를 이용하였으며, 10 bit 내부 ADC를 이용하여 측정된 광량을 처리하였다. 그림 1은 본 연구에서 제안된 시스템의 블록도를 보여주고 있으며, 그림 2는 제작된 시스템의 외형을 보여주고 있다.

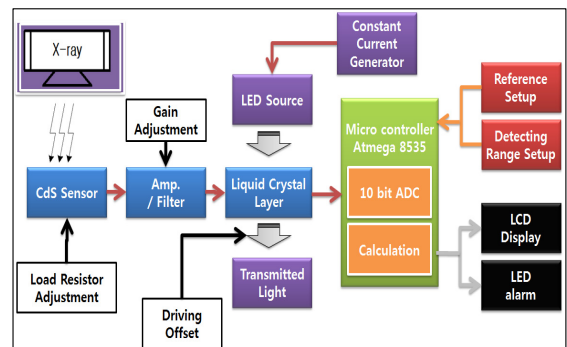


Fig. 1. Block diagram of proposed system.

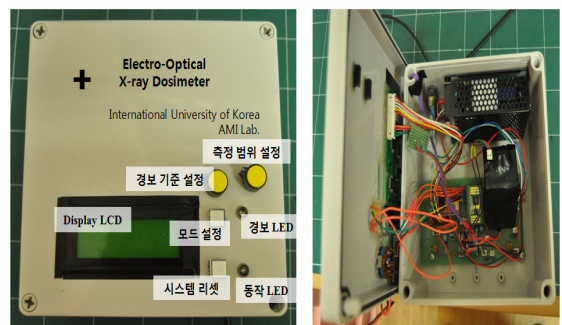


Fig. 2. Appearance and inner view of fabricated system.

본 연구에서는 X선 검출을 위하여 CdS 셀을 이용하였다. CdS 셀은 일종의 광검출용 저항기로 생각할 수 있기 때문에 검출부의 회로설계가 쉬워지고, 출력 전

류가 커 회로구성상 큰 장점으로 갖는다. 또한, CdS 셀의 응답 특성은 부하저항이 클수록 그 상승특성이 좋아지지만, 그 반대로 감쇠시간이 길어진다는 특징을 갖는다. 본 연구에서는 CdS 셀의 방사선 조사선량에 따른 상관관계를 확인하기 위하여 관전압의 변화에 따른 CdS 셀의 출력 전압 특성을 평가하였다. 측정결과 일차 선형식에 대하여 0.9431 및 0.9764로 높은 상관계수를 보였다. 그림 3은 관전압의 변화에 따른 CdS 셀의 출력전압 변화를 보여주고 있다.

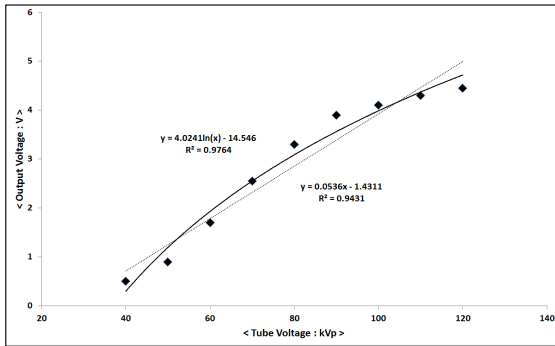


Fig. 3. Output characteristic trends of CdS cell by tube voltage.

본 연구에서는 액정 기반 X선 검출기를 위하여 폴리이미드(Polyimide)계 고분자 유기 화합물을 사용하여 TN 액정층 제작하였다. 유기 배향막을 이용한 러빙법을 사용하였으며, 배향막은 120 °C 에서 필름을 형성하였고, 두께는 700 Å 정도로 제작하였다. NW(Normally white), E(Extraordinary) 동작 모드의 액정을 설계하였으며, 200 °C 이하에서 액정 셀 제작 공정이 가능하고 ITO 기판과의 우수한 접착성을 가질 수 있도록 제작되었다. 또한, 제안된 액정 셀에 대하여 인가전압에 따른 광 투과 특성을 평가하여 유효성을 확인하였다.

Ⅲ. 성능평가 및 고찰

제작된 시스템의 X선 검출 특성을 평가하고, 조사선량에 따른 유발 전압의 상관관계를 분석하기 위하여 상용의 X선 발생장치(Toshiba 社 KXO-50N 모델)를 이용하여 각각의 X선 조사조건에 따른 출력값을 측정하였다. 출력신호는 전압의 변화로 측정하였으며, 디지털오실로스코프(Lecroy 사, wave runner 6100 모델,

sampling rate 10 GS/s, bandwidth 1 GHz)를 이용하여 획득하였다. 측정되는 신호는 액정의 동작 영역을 고려하여 증폭 및 필터링, 옵셋 조절 후 측정하였다. 그림 4는 성능평가를 위한 실험 장치를 보여주고 있다.



Fig. 4. Experimental setup.

제작된 시스템의 특성을 평가하기 위하여 관전압 변화 및 관전류 변화에 따른 출력값을 측정하였으며, X선 조사 후 CdS 셀이 안정되는 시간을 측정하여 제작된 시스템의 회복시간을 평가하였다. 본 연구에서는 입사되는 방사선 선량과 액정 유발 전압, 투과량의 관계를 도출하고자 하기 위하여 이온챔버를 이용하여 각 조사조건에서의 조사선량을 측정하여 상관관계를 분석하였다. 출력 신호는 디지털오실로스코프(Lecroy 사, wave runner 6100 모델)를 이용하여 획득하였으며, 마이크로소프트 엑셀 ver. 2010을 이용하여 분석하였다. 측정되는 신호는 액정의 동작 영역을 고려하여 증폭 및 필터링, 옵셋이 조절된 후 측정되었다. 측정결과 관전압, 관전류 변화에 따른 출력 전압의 상관관계는 상관계수가 0.95 이상으로 매우 우수하게 확인되었다. 조사선량과 출력전압의 관계는 상관관계 0.9059로 매우 우수하게 확인되었다.

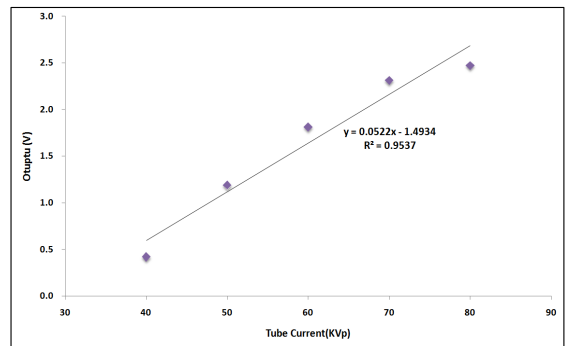


Fig. 5. Output trends in accordance with tube voltage.

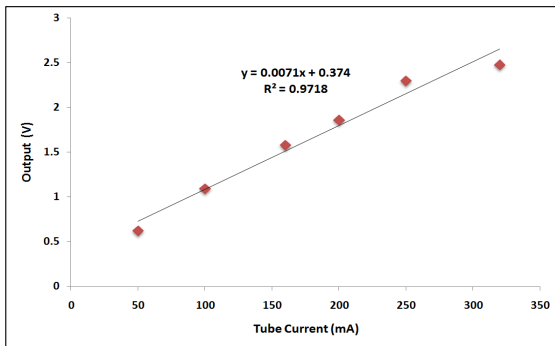


Fig. 6. Output trends in accordance with tube current.

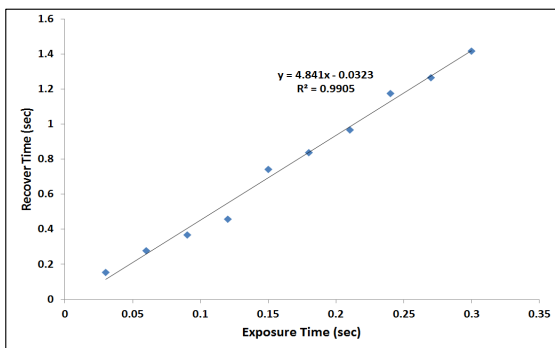


Fig. 7. Recovery time trend of CdS cell by exposure time.

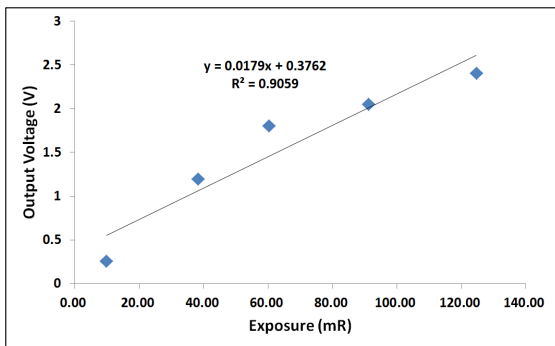


Fig. 8. Output trends in accordance with exposure dose.

그림 5부터 그림 7까지는 관전압, 관전류 변화에 따른 출력 전압의 변화, CdS 셀의 회복시간 변화추이를 보여주고 있다. 그림 8은 X선 조사선량에 따른 출력 전압의 변화를 보여주고 있다.

본 연구에서 제안된 선량계는 검출 센서에서 측정된 방사선 선량에 따른 전압 변위를 이용하여 액정층을 구동시키고, 이를 통하여 변화되는 빛의 투과량 변

화를 검출하여 선량을 결정하는 방식을 사용하였다. 이러한 시스템에서는 액정셀이 구동되는 문턱전압과 포화전압의 결정이 매우 중요하며 동적 범위 설정과 이를 보상할 수 있는 알고리즘 구현이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 제작된 90° TN(twisted nematic) 액정셀에 대하여 X선 조사에 따른 투과율 변화를 분석하였다. 투과율 측정에 사용된 광원은 적색 고휘도 LED를 사용하였으며, 정전류 발생 회로를 추가하여 노이즈에 따른 투과율 오차를 줄일 수 있도록 하였다. 측정결과 액정의 동적 범위는 1.5-4.5 V로 측정되었으며, 동적 범위 내에서의 상관관계는 상관계수 0.9854로 확인되었다. 이러한 결과를 통하여 액정 구동방식의 X선 검출이 가능할 것으로 판단되었다. 그림 9는 인가 전압에 따른 투과광의 감쇠율 추세를 보여주고 있으며, 그림 10은 액정의 동적 범위 내에서 액정 인가전압 대비 투과광 출력 전압의 추이를 보여주고 있다.

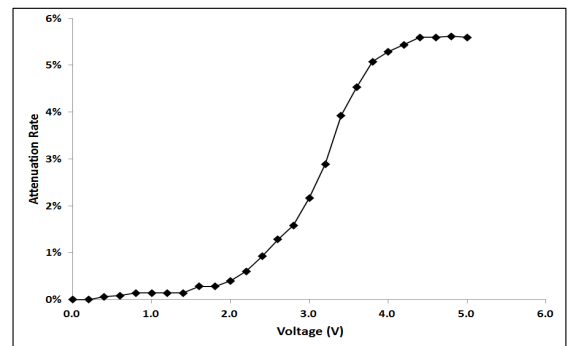


Fig. 9. Reducing ratio of penetrating light by input voltage.

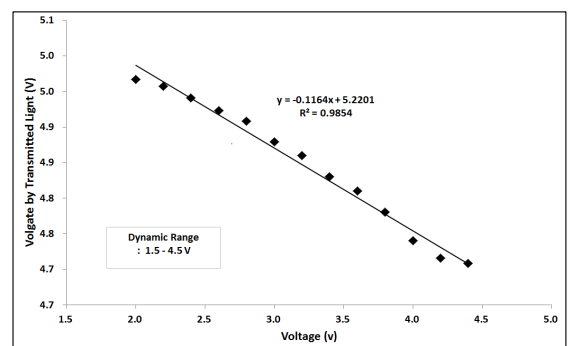


Fig. 10. Output voltage of penetrating light by input voltage.

IV. 결론

본 연구에서는 CdS 반도체를 이용하여 액정 광변조 방식의 휴대형 X선 검출기를 제안하였다. 제안된 시스템은 검출부, 신호처리부, 액정 구동 및 투과량 측정부, 마이크로컨트롤러부, 입출력부로 구성되었으며, 소형화 및 휴대형에 적합하게 제작되었다. 또한, 경보 기능을 추가하여 설정된 조사량 이상이 검출되면 사용자에게 전달할 수 있도록 하였으며, 검출 범위 선택을 통하여 광범위한 조건에서 측정이 가능하도록 구성하였다.

본 연구에서는 CdS 셀의 X선 검출특성을 확인하였으며, 제작된 시스템의 유효성을 평가하기 위하여 조사조건에 따른 유발전압의 상관관계를 분석하였다. 또한 제안된 시스템 구현을 위하여 폴리이미드계 고분자 유기 화합물을 사용하여 TN 액정 셀을 제작하였으며, 액정 광변조 방식의 조사선량 측정 알고리즘 구현을 위하여 제작된 액정의 광투과율 및 출력전압을 평가하였다. 평가 결과 관전압, 관전류 변화에 따른 출력전압의 상관관계는 상관계수가 0.95 이상으로 매우 우수하게 확인되었다. 또한 X선 조사에 따른 CdS 셀의 회복시간을 측정하였으며, 이를 통하여 비록 CdS 셀의 반응시간이 느리다는 단점은 있지만 측정시스템에 활용이 충분하다는 것을 확인하였다. 액정층의 광투과율 및 출력전압 평가 결과 본 연구에서 제안된 액정 광변조 방식의 특징인 우수한 재현성과 노이즈에 강한 특성을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통하여 제안된 CdS 셀 기반 광변조 방식의 휴대형 X선 검출 시스템이 소형, 저가형, 휴대형 시스템으로 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

감사의글

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No.2009-0088856)

참고문헌

- [1] S. S. Kang, Y. Z. Choi, M. H. Lee, et. al, "Study on electrical properties of photoconductors for radiation detector application

based on liquid crystal", J. of the Korean Society of Radiology, vol. 4, no. 2, 2010.

- [2] Glenn F. Knoll, "Radiation detection and measurement", 2 edit., John Willey & Sons, 1992.
- [3] J. K. Park, M. H. Lee, Y. Z. Choi, et. al., "The fabrication and evaluation of CdS sensor for diagnostic X-ray detector application", J. of the Korean Society of Radiology, vol. 4, No. 2, 2010.
- [4] Johns HE, Cunningham JR, The physics of radiology, 4th edit, toronto : Charles C Thomas, 1997.
- [5] L. V. Vladimirov and A. A. Kozlov, DER-01M Miniature Portable X-Ray Dosimeter for Monitoring Dose and Dose Rate in X-Ray Diagnosis, Biomedical Engineering, vol. 37, No, 5, 2003.
- [6] Metcalfe P, kron T, Hoban P, "The physics of radiotherapy X-rays, Madison", Medical Physics, 1997.