(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0021611
(43) 공개일자 2018년03월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 6/00 (2006.01) *C07F 7/24* (2006.01)
C08K 3/10 (2018.01) *C08K 5/56* (2006.01)
C08L 29/14 (2006.01) *G01T 1/161* (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 6/4216 (2013.01)
C07F 7/24 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0106406
(22) 출원일자 2016년08월22일
심사청구일자 2016년08월22일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
재단법인 멀티스케일 에너지시스템 연구단
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동,서울대학교)
(72) 발명자
임상혁
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 화학공학과(서천동, 경희대학교국제캠퍼스)
신동희
충청남도 천안시 서북구 입장면 하장2길 19
허진혁
경기도 수원시 영통구 영일로 8, 301호(영통동, 메가플러스)
(74) 대리인
김연권

전체 청구항 수 : 총 29 항

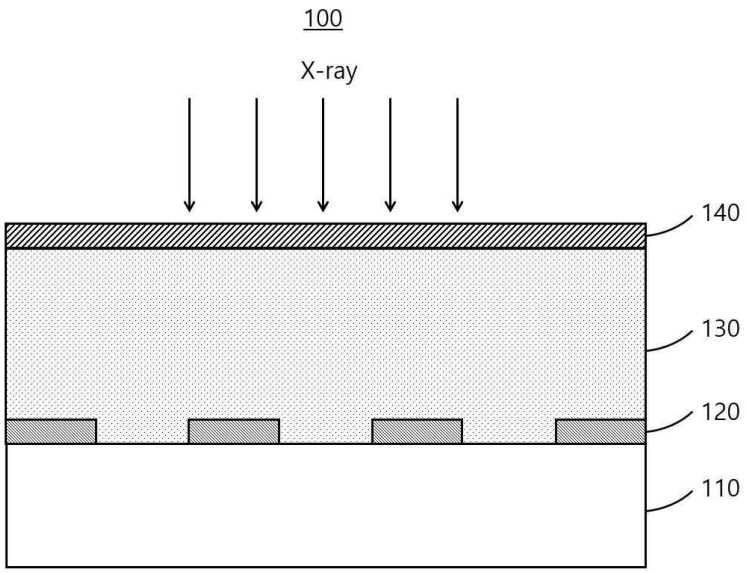
(54) 발명의 명칭 **페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터를 구비한 엑스선 검출기**

(57) 요 약

본 발명은 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터를 구비한 엑스선 검출기를 개시한다. 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 기판; 상기 기판 상에 형성된 제1 전극; 상기 제1 전극 상에 형성되고, 입사된 엑스선(X-ray)에 의해 전자-정공 쌍을 발생시키는 포토컨덕터층(photoconductor layer); 및 상기 포토컨덕터층 상에

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



형성된 제2 전극을 포함하고, 상기 포토컨덕터층은 하기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[화학식 1]

$A_2A'_{n-1}M_nX_{3n+1}$

(상기 화학식 1에서, A는 1가의 양이온이고, A'는 1가의 양이온이며, M은 1가, 2가, 3가 또는 4가의 금속 양이온이고, X는 1가 음이온이며, n은 적어도 1이상임.)

(52) CPC특허분류
C08K 3/10 (2013.01)
C08K 5/56 (2013.01)
C08L 29/14 (2013.01)
G01T 1/161 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 NRF-2013R1A2A2A01067999
부처명 한국연구재단(학술진흥)
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 중견연구자 지원 사업
연구과제명 고효율 하이브리드 감응체 기반 유연 박막 태양전지 기술개발
기 여 율 1/4
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2015.12.01 ~ 2016.11.30
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2014R1A5A1009799
부처명 한국연구재단(학술진흥)
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 선도 연구 지원 사업
연구과제명 고효율 하이브리드 감응체 기반 유연 박막 태양전지 기술개발
기 여 율 1/4
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2015.12.01 ~ 2016.11.30
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2015M1A2A2055631
부처명 한국연구재단(학술진흥)
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 기후 변화대응 기술 개발 사업
연구과제명 고효율 무연 페로브스카이트형 태양전지 기술 개발
기 여 율 1/4
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2015.10.19 ~ 2016.10.18
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2012M3A6A7054855
부처명 미래부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 글로벌 프런티어 사업
연구과제명 고내구성 페로브스카이트 소재기술
기 여 율 1/4
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2016.07.01 ~ 2017.04.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판;

상기 기판 상에 형성된 제1 전극;

상기 제1 전극 상에 형성되고, 입사된 엑스선(X-ray)에 의해 전자-정공 쌍을 발생시키는 포토컨덕터층(photoconductor layer); 및

상기 포토컨덕터층 상에 형성된 제2 전극

을 포함하고,

상기 포토컨덕터층은 하기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

[화학식 1]

$A_2A'_{n-1}M_nX_{3n+1}$

(상기 화학식 1에서,

A는 1가의 양이온이고,

A'는 1가의 양이온이며,

M은 1가, 2가, 3가 또는 4가의 금속 양이온이고,

X는 1가 음이온이며,

n은 적어도 1이상임.)

청구항 2

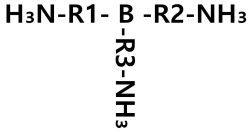
제1항에 있어서,

상기 A 또는 상기 A'는 하기 화학식 2 내지 화학식 4로 표시되는 화합물 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 X선 검출기.

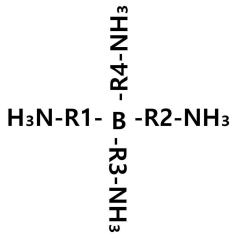
[화학식 2]

$H_3N\text{-}R\text{-}NH_3$

[화학식 3]



[화학식 4]



(상기 화학식 2 내지 화학식4에서,

B는 3관능 이상 결합이 가능한 비금속, 전이금속 및 전이후금속이고,

R, R1, R2 또는 R3는 $C_{2\sim20}$의 비치환된 또는 치환된 알킬기이며, 치환기는 아미노기(-NH_3), 수산화기(-OH), 시아노기(-CN), 할로겐기, 니트로기(-NO), 메톡시기(-OCH_3)를 포함함.)

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 A 또는 상기 A'는 $C_{1\sim24}$의 직쇄 또는 측쇄 알킬, 아민기(-NH_3), 수산화기(-OH), 시아노기(-CN), 할로겐기, 니트로기(-NO), 메톡시기(-OCH_3) 또는 이미다졸리움기가 치환된 $C_{1\sim24}$의 직쇄 또는 측쇄 알킬, Li^+, Na^+, K^+, Rb^+, Cs^+, Fr^+, $Cu(I)^+$, $Ag(I)^+$ 및 $Au(I)^+$으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 M은 Li^+, Na^+, K^+, Rb^+, Cs^+, Pb^{2+}, Sn^{2+}, Ge^{2+}, Cu^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Ti^{2+}, Zr^{2+}, Hf^{2+}, Rf^{2+}, In^{3+}, Bi^{3+}, Co^{3+}, Sb^{3+}, Ni^{3+}, Al^{3+}, Ga^{3+}, Tl^{3+}, Sc^{3+}, Y^{3+}, La^{3+}, Ce^{3+}, Fe^{3+}, Ru^{3+}, Cr^{3+}, V^{3+}, Ti^{3+}, Si^{4+}, C^{4+}, Ge^{4+}, Hf^{4+}, Zr^{4+} 및 Ti^{4+}으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 X는 F^-, Cl^-, Br^-, I^-, SCN^- 및 BF_4^-으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 페로브스카이트 화합물은 나노결정입자인 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 나노결정입자의 입자 크기는 1 ㎚ 내지 500 ㎚ 범위인 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 포토컨덕터층의 트랩 밀도(trap density)는 10^8 cm^{-2} 내지 10^{16} cm^{-2}인 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 포토컨덕터층은 트랩 힐링 물질(trap healing material)을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 트랩 힐링 물질은 그래핀 양자점(graphene quantum dot), 풀러렌(fullerene, C_{60}) 또는 이들의 유도체로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 포토컨덕터층은 유기 바인더를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 유기 바인더는 폴리비닐 부티랄 수지, 폴리비닐 클로라이드 수지, 아크릴 수지, 페녹시 수지, 폴리에스테르 수지, 폴리비닐 포르말 수지, 폴리아미드 수지, 폴리스티렌 수지, 폴리카보네이트 수지, 폴리비닐 아세테이트 수지, 폴리우레탄 수지 및 에폭시 수지로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 포토컨덕터층에는 상기 페로브스카이트 화합물 및 상기 유기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함되는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 포토컨덕더층은 무기 바인더를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 무기 바인더는 TiO_2 나노입자, SiO_2 나노입자, Al_2O_3 나노입자, VO_2 나노입자, 층상구조 화합물, 금속알콕사이드 및 금속할라이드로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 포토컨덕터층에는 상기 페로브스카이트 화합물 및 상기 무기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함되는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 무기 바인더의 입자 크기는 1 ㎚ 내지 100 ㎚ 범위인 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 18

제1항에 있어서,

상기 포토컨덕터층의 두께는 1 ㎛ 내지 1,000 ㎛ 범위인 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 19

제1항에 있어서,

상기 제1 전극은 알루미늄(Al), 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 인듐주석산화물(ITO), 알루미늄아연산화물(AZO), 불소산화주석(FTO), 탄소나노튜브(CNT), 그래핀(graphene) 및 폴리에틸렌디옥시티오펜:폴리스티렌설포네이트(PEDOT:PSS)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 20

제1항에 있어서,

상기 제2 전극은 알루미늄(Al), 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 인듐주석산화물(ITO), 알루미늄아연산화물(AZO), 불소산화주석(FTO), 탄소나노튜브(CNT), 그래핀(graphene) 및 폴리에틸렌디옥시티오펜:폴리스티렌설포네이트(PEDOT:PSS)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 21

제1항에 있어서,

상기 제1 전극 및 상기 제2 전극 사이에 전자 전달층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 전자 전달층은 금속 산화물을 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 23

제1항에 있어서,

상기 제1 전극 및 상기 제2 전극 사이에 정공 전달층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 24

제23항에 있어서,

상기 정공 전달층은 티오펜계, 파라페닐렌비닐렌계, 카바졸계 및 트리페닐아민계로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 25

제1항에 있어서,

상기 기판은 유리(glass), 석영(quartz), 실리콘(silicon) 및 플라스틱(plastic)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 26

제1항에 있어서,

상기 기판은 박막트랜지스터(TFT), 전하결합소자(CCD) 또는 상보형금속산화반도체(CMOS)를 포함하는 어레이 기판인 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 27

엑스선을 발생시키는 엑스선 발생기;

상기 엑스선을 검출하는 제1항 내지 제26항 중 어느 한 항에 따른 엑스선 검출기;

상기 엑스선 검출기를 구동시키는 구동부; 및

엑스선 검출 전압을 처리하는 데이터 처리부

를 포함하는 엑스선 시스템.

청구항 28

제27항에 있어서,

상기 엑스선 시스템은 엑스선 회절 분석 장치(XRD)인 것을 특징으로 하는 엑스선 시스템.

청구항 29

제27항에 있어서,

상기 엑스선 시스템은 비파괴 검사 장치인 것을 특징으로 하는 엑스선 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터를 구비한 엑스선 검출기에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 엑스선 검출기(X-ray detector)는 환자의 병을 진단하는 중요한 의료 장치로 각광받고 있다. 이로 인해, 의료 장치 산업 분야에서 엑스선 검출기의 위상은 날로 높아지고 있다. 이에 따라, 환자의 병을 정확하고, 신속하게 진단하기 위하여, 고 신뢰성을 갖는 엑스선 검출기에 대한 기술들이 개발되고 있다.

[0003] 엑스선 검출기는 엑스선으로 촬영한 엑스선 화상 또는 엑스선 투시 화상을 디지털 신호로 출력한다. 이러한 엑스선 검출기는 직접방식(직접변환방식) 및 간접방식(간접변환방식)으로 나뉜다.

[0004] 직접방식은 포토컨덕터(photoconductor, 광전도체)에서 엑스선을 직접 전하로 변환하며, 간접방식은 신틸레이터(scintillator, 섬광체)에서 엑스선을 가시광선으로 변환 후, 변환된 가시광선을 포토다이오드와 같은 광전변환 소자를 통해 전하로 변환하는 방식이다.

[0005] 간접방식은 엑스선을 신틸레이터와 상호반응을 통해 가시광선으로 변환하는 방법으로서, 광의 산란을 야기하여 해상도가 저하되는 단점이 있다. 반면, 직접방식은 직접변환된 전지적 신호를 검출함으로써 영상 분해능이 우수하고, 변환효율 및 수집효율이 우수하여 환자에 대한 방사선(엑스선) 피폭을 감소시킬 수 있으며, 대면적 소자 제조가 용이하다는 장점이 있다.

[0006] 직접방식의 엑스선 검출기는 엑스선 조사에 의해 전자-정공 쌍을 생성하는 포토컨덕터층과, 포토컨덕터층의 하부에 형성되어 포토컨덕터로부터 전하를 전달받는 복수의 픽셀전극을 포함한다.

[0007] 이러한 직접방식의 엑스선 검출기에 이용되는 포토컨덕터 물질은 높은 엑스선 흡수도, 낮은 누설전류, 우수한 전하 수집율 및 빠른 신호응답특성을 가져야 한다. 이러한 특성들은 원자번호, 밴드갭 에너지(bandgap energy), 효율적인 전자-정공 생성에너지(W), 전하 이동도 및 수명과 같은 물질의 물리적인 특성에 의존한다.

[0008] 즉, 포토컨덕터의 밴드갭 에너지는 열적 누설 전류를 감소시키기 위해 클수록 유리하며, 전자-정공 쌍을 생성시키는데 필요한 엑스선 에너지는 낮을수록 민감도(sensitivity)를 높일 수가 있다. 또한, 전하의 이동도 및 수명이 좋아야 포토컨덕터 내에서의 생성 전하의 수집효율 및 시간응답특성 등이 우수한 특성을 보인다.

[0009] 현재까지 직접방식의 엑스선 검출기에 상용화된 포토컨덕터 물질은 비정질 셀레늄(a-Se) 및 CdTe가 있다. 이 중 대표적인 물질은 a-Se로서, 증착 공정을 쉽고 빠르게 할 수 있고 암전류가 작으며 비저항이 크다는 장점이 있다. 하지만 전자-정공 생성에너지(W)값이 높고, 동작 전압이 높아 소자의 파괴 및 수명감소, 낮은 민감도,

전하 트랩(charge trap) 현상이 생기는 단점이 있다.

[0010] 이외에 HgI_2, PbI_2, CdZnTe 등의 지금까지 보고된 포토컨덕터 물질들은 대면적 제조가 어렵고, 소자의 전기적 동작특성 및 신뢰성의 한계를 가진다.

[0011] 이러한 이유로 인해 직접방식의 엑스선 검출기는 엑스선 흡수를 높이기 위한 두꺼운 막의 포토컨덕터층이 요구되고 있다. 그러나, 후막(厚膜, thick film) 제조시 크랙(crack) 및 균일도 문제로 인해 엑스선 검출기의 성능 저하 및 오랜 공정시간으로 인한 공정 단가 상승 등이 야기되고 있다.

[0012] 또한, 대량생산까지 오랜 시간이 걸린다는 단점이 있으며 재현성 있게 제조할 수 있는 기술이 부족한 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 저가이면서 재현성이 높은 후막의 포토컨덕터층을 제조하는 것이 매우 중요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 제10-2006-0075922호, "X선 검출기 및 이를 이용한 시료 분석 장치"

(특허문헌 0002) 일본등록특허공보 제4683719호, "산화물 형광체 및 그것을 이용한 방사선 검출기 및 X 선 CT 장치"

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명의 실시예는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터를 구비한 엑스선 검출기를 제공하고자 한다.

[0015] 또한, 본 발명의 실시예는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터를 구비한 엑스선 검출기를 포함하는 엑스선 시스템을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0016] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 기판; 상기 기판 상에 형성된 제1 전극; 상기 제1 전극 상에 형성되고, 입사된 엑스선(X-ray)에 의해 전자-정공 쌍을 발생시키는 포토컨덕터층(photoconductor layer); 및 상기 포토컨덕터 상에 형성된 제2 전극을 포함하고, 상기 포토컨덕터층은 하기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0017] [화학식 1]

[0018] $A_2A'_{n-1}M_nX_{3n+1}$

[0019] (상기 화학식 1에서,

[0020] A는 1가의 양이온이고,

[0021] A'는 1가의 양이온이며, M은 1가, 2가, 3가 또는 4가의 금속 양이온이고,

[0022] X는 1가 음이온이며,

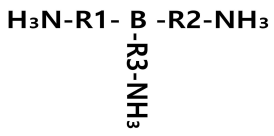
[0023] n은 적어도 1이상임.)

[0024] 상기 A 또는 A'는 하기 화학식 2 내지 화학식 4로 표시되는 화합물 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0025] [화학식 2]

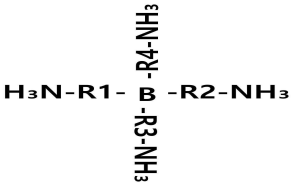
[0026] $H_3N-R-NH_3$

[0027] [화학식 3]



[0028]

[0029] [화학식 4]



[0030]

[0031] (상기 화학식 2 내지 화학식4에서,

[0032] B는 3관능 이상 결합이 가능한 비금속, 전이금속 및 전이후금속이고,

[0033] R, R1, R2 또는 R3는 $C_{2\sim20}$의 비치환된 또는 치환된 알킬기이며, 치환기는 아미노기(-NH_3), 수산화기(-OH), 시아노기(-CN), 할로겐기, 니트로기(-NO), 메톡시기(-OCH_3)를 포함함.)

[0034] 상기 화학식 2 내지 화학식 4 물질을 포함할 경우, 내구성이 강화되며, 광에 대한 안정성을 향상시킬 수 있다.

[0035] 상기 A 또는 상기 A'는 $C_{1\sim24}$의 직쇄 또는 측쇄 알킬, 아민기(-NH_3), 수산화기(-OH), 시아노기(-CN), 할로겐기, 니트로기(-NO), 메톡시기(-OCH_3) 또는 이미다졸리움기가 치환된 $C_{1\sim24}$의 직쇄 또는 측쇄 알킬, Li^+, Na^+, K^+, Rb^+, Cs^+, Fr^+, $Cu(I)^+$, $Ag(I)^+$ 및 $Au(I)^+$으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0036] 상기 M은 Li^+, Na^+, K^+, Rb^+, Cs^+, Pb^{2+}, Sn^{2+}, Ge^{2+}, Cu^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Ti^{2+}, Zr^{2+}, Hf^{2+}, Rf^{2+}, In^{3+}, Bi^{3+}, Co^{3+}, Sb^{3+}, Ni^{3+}, Al^{3+}, Ga^{3+}, Tl^{3+}, Sc^{3+}, Y^{3+}, La^{3+}, Ce^{3+}, Fe^{3+}, Ru^{3+}, Cr^{3+}, V^{3+}, Ti^{3+}, Si^{4+}, C^{4+}, Ge^{4+}, Hf^{4+}, Zr^{4+} 및 Ti^{4+}로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0037] 상기 X는 F^-, Cl^-, Br^-, I^-, SCN^- 및 BF_4^-으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0038] 상기 페로브스카이트 화합물은 나노결정입자(nanocrystal particle)일 수 있다.

[0039] 상기 나노결정입자의 입자 크기는 1 nm 내지 500 nm 범위일 수 있다.

[0040] 상기 포토컨덕터층의 트랩 밀도(trap density)는 10^8 cm^{-2} 내지 10^{16} cm^{-2}일 수 있다.

[0041] 상기 포토컨덕터층은 트랩 힐링 물질(trap healing material)을 더 포함할 수 있다.

[0042] 상기 트랩 힐링 물질은 그래핀 양자점(graphene quantum dot), 풀러렌(fullerene, C_{60}) 또는 이들의 유도체 등으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0043] 상기 포토컨덕터층은 유기 바인더를 더 포함할 수 있다.

[0044] 상기 유기 바인더는 폴리비닐 부티랄 수지, 폴리비닐 클로라이드 수지, 아크릴 수지, 페녹시 수지, 폴리에스테르 수지, 폴리비닐 포르말 수지, 폴리아미드 수지, 폴리스티렌 수지, 폴리카보네이트 수지, 폴리비닐 아세테이트 수지, 폴리우레탄 수지 및 에폭시 수지로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0045] 상기 포토컨덕터층에는 상기 페로브스카이트 화합물 및 상기 유기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함될 수 있다.

[0046] 상기 포토컨덕더층은 무기 바인더를 더 포함할 수 있다.

[0047] 상기 무기 바인더는 TiO_2 나노입자, SiO_2 나노입자, Al_2O_3 나노입자, VO_2 나노입자, 층상구조 화합물, 금속알콕사이드 및 금속할라이드로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0048] 상기 포토컨덕터층에는 상기 페로브스카이트 화합물 및 상기 무기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함될 수 있다.

[0049] 상기 무기 바인더의 입자 크기는 1 ㎚ 내지 100 ㎚ 범위일 수 있다.

[0050] 상기 포토컨덕터층의 두께는 1 ㎛ 내지 1,000 ㎛ 범위일 수 있다.

[0051] 상기 제1 전극은 알루미늄(Al), 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 인듐주석산화물(ITO), 알루미늄아연산화물(AZO), 불소산화주석(FTO), 탄소나노튜브(CNT), 그래핀(graphene) 및 폴리에틸렌디옥시티오펜:폴리스티렌설포네이트(PEDOT:PSS)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0052] 상기 제2 전극은 알루미늄(Al), 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 인듐주석산화물(ITO), 알루미늄아연산화물(AZO), 불소산화주석(FTO), 탄소나노튜브(CNT), 그래핀(graphene) 및 폴리에틸렌디옥시티오펜:폴리스티렌설포네이트(PEDOT:PSS)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0053] 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극 사이에 전자 전달층을 더 포함할 수 있다.

[0054] 상기 전자 전달층은 금속 산화물을 포함할 수 있다.

[0055] 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극 사이에 정공 전달층을 더 포함할 수 있다.

[0056] 상기 정공 전달층은 티오펜계, 파라페닐렌비닐렌계, 카바졸계 및 트리페닐아민계로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0057] 상기 기판은 유리(glass), 석영(quartz), 실리콘(silicon) 및 플라스틱(plastic)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0058] 상기 기판은 박막트랜지스터(TFT), 전하결합소자(CCD) 또는 상보형금속산화반도체(CMOS)를 포함하는 어레이 기판일 수 있다.

[0059] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 시스템은 엑스선을 발생시키는 엑스선 발생기; 상기 엑스선을 검출하는 상기 엑스선 검출기; 상기 엑스선 검출기를 구동시키는 구동부; 및 엑스선 검출 전압을 처리하는 데이터 처리부를 포함한다.

[0060] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 시스템은 회절 분석 장치(XRD)일 수 있다.

[0061] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 시스템은 비파괴 검사 장치일 수 있다.

발명의 효과

[0062] 본 발명의 실시예에 따르면, 포토컨덕터층의 물질로서 페로브스카이트 화합물을 이용하기 때문에 엑스선 검출기의 제조공정이 단순하면서도 제조비용을 절감할 수 있다.

[0063] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 포토컨덕터층은 유기물의 장점과 무기물의 장점을 모두 가질 수 있어 후막(thick film) 제조가 용이하고 재현성이 높으며 내구성이 우수하다.

[0064] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 페로브스카이트 화합물의 빠른 응답 속도로 인해 엑스선에 대한 감도, 흡광 특성 및 시간 분해능이 우수하고, 낮은 저항 특성을 가질 수 있다.

[0065] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 페로브스카이트 화합물과 접착력이 우수한 무기 바인더를 혼합하여 사용함으로써 기판과의 접착력을 향상시킬 수 있다.

[0066] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층을 구비한 직접방식의 엑스선 검출기를 구현하여, 고해상도의 엑스선 이미지 및 동영상의 구현이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0067] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물의 구조를 도시한 것이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기의 평면도를 도시한 것이다.

도 4a 내지 4f는 본 발명의 실시예에 따른 이종접합형 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함하는 엑스선 시스템을 나타낸 것이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 엑스선 회절(XRD) 분석 장치를 도시한 이미지이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 비파괴 검사 장치의 응용 분야를 도시한 이미지이다.

도 8은 실시예 1에서 제조된 $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층의 엑스선 회절(XRD) 분석 그래프이다.

도 9는 실시예에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층의 주사전자현미경(SEM) 이미지이다.

도 10a 및 도 10b는 실시예 1 및 비교예 1에서 제조된 $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 페로브스카이트 화합물 및 CdTe를 각각 포함하는 포토컨덕터층을 구비한 엑스선 검출기의 엑스선 반응도를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0068] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0069] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0070] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "측면", "예시" 등은 기술된 임의의 양상(aspect) 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되어야 하는 것은 아니다.

[0071] 또한, '또는' 이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or'이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or'를 의미한다. 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다'라는 표현은 포함적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.

[0072] 또한, 본 명세서 및 청구항들에서 사용되는 단수 표현("a" 또는 "an")은, 달리 언급하지 않는 한 또는 단수 형태에 관한 것이라고 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 일반적으로 "하나 이상"을 의미하는 것으로 해석되어야 한다.

[0073] 또한, 막, 층, 영역, 구성 요청 등의 부분이 다른 부분 "위에" 또는 "상에" 있다고 할 때, 다른 부분의 바로 위에 있는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막, 층, 영역, 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.

[0074] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 설명하기로 한다.

[0076] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

[0077] 도 1을 참조하면, 엑스선 검출기(100)는 기판(110), 제1 전극(120), 포토컨덕터층(130) 및 제2 전극(140)을 포함한다.

[0078] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기(100)는 쇼트키형(Schottky type)일 수 있다.

[0079] 기판(110)은 박막트랜지스터(TFT, thin film transistor), 전하결합소자(CCD, charge coupled device) 또는 상보형금속산화반도체(CMOS, complementary metal-oxide semiconductor)를 포함하는 어레이(array) 기판일 수 있다.

[0080] 엑스선 검출기(100)는 의료용뿐만 아니라, 산업용으로도 널리 사용되는데, 의료용의 경우 외부환경에 크게 영향을 받지 않으나, 산업용의 경우 외부환경에 크게 영향을 받을 수 있다.

[0081] CCD 어레이 기판은 다른 어레이 기판을 이용한 검출기에 비해 수명이 길고, 온도변화에도 우수한 장점이

있으며, 비파괴 검사 분야 및 미세 영상구조를 영상화하는데 유리하다.

[0082] CMOS 어레이 기판은 잔상이 없는 고속영상이 획득 가능하고 전력소모가 낮으며, 생산성 및 경제성이 높고 고집적, 고해상도 센서 설계가 가능하여 치과용, 맘모용(유방암)으로 주로 사용된다. 또한, CMOS 어레이 기판은 고해상도의 고속처리가 가능하기 때문에 차후에는 싱글포톤카운팅(single photon counting) 검출기로도 이용될 수 있다. 하지만, CMOS 기판의 경우 실리콘(Si) 기반으로 제조하기 때문에 대면적으로 제조하는 데에는 어려움이 있다.

[0083] TFT 어레이 기판은 대면적 제조가 용이하여 흉부 및 산업용 검출기로 널리 이용될 수 있다. 이하, 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기(100)를 설명함에 있어서, 기판(110)으로서 TFT 어레이 기판을 예시적으로 기재하지만, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0084] 기판(110)은 절연성 물질로 형성될 수 있다. 기판(110)은 예를 들어, 유리(glass), 석영(quartz), 실리콘(silicon) 또는 플라스틱(plastic)으로 형성될 수 있다.

[0085] 일례로, 플라스틱 기판은 플렉서블(flexible) 또는 벤더블(bendable) 엑스선 검출기에 사용될 수 있다. 또한, 실리콘 기판은 두께를 100 ㎛ 이하로 가공할 경우 벤더블(bendable) 엑스선 검출기에 사용될 수 있다.

[0086] 제1 전극(120)은 기판(110) 상에 형성된다. 구체적으로, 제1 전극(120)은 박막트랜지스터(미도시) 및 커패시터(미도시)가 형성된 기판(110)을 컨포멀(conformal)하게 덮도록 형성된 층간 절연층(미도시) 상에 형성될 수 있다.

[0087] 제1 전극(120)은 복수 개의 픽셀 전극일 수 있다. 구체적으로, 제1 전극(120)은 기판(110)상에 복수 개의 픽셀 단위로 형성되어 엑스선(X-ray) 영상을 구성하는 픽셀 어레이를 형성할 수 있다.

[0088] 제1 전극(120)은 전기적 특성이 우수한 전도성 물질로 형성될 수 있다.

[0089] 제1 전극(120)은 예를 들어, 알루미늄(Al), 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 인듐주석산화물(ITO, Indium Tin Oxide), 인듐아연산화물(IZO, Indium Zinc Oxide), 알루미늄아연산화물(AZO, Aluminum Zinc Oxide), 불소산화주석(FTO, Fluorine Tin Oxide), 탄소나노튜브(CNT, Carbon Nano Tube), 그래핀(graphene) 및 폴리에틸렌디옥시티오펜: 폴리스티렌설포네이트(PEDOT:PSS)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하도록 형성될 수 있다.

[0090] 포토컨덕터층(130)은 제1 전극(120) 상에 형성된다.

[0091] 포토컨덕터층(130)은 제2 전극(140)을 통과하여 포토컨덕터층(130)에 입사된 엑스선(X-ray)에 의해 전자-정공쌍(electron-hole pair)을 발생시킨다. 전자-정공 쌍의 양은 포토컨덕터층(130)에 흡수되는 엑스선의 에너지 양에 따라 다르다.

[0092] 포토컨덕터층(130)은 페로브스카이트 화합물을 포함한다. 구체적으로, 포토컨덕터층(130)은 제2 전극(140)을 통과해 입사된 엑스선(X-ray)을 흡수하여 전기적인 신호로 변환할 수 있는 물질로서, 페로브스카이트 구조(perovskite structure)를 갖는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.

[0093] 포토컨덕터층(130)은 하기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.

[0094] [화학식 1]

[0095] $A_2A'_{n-1}M_nX_{3n+1}$

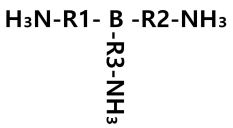
[0096] 상기 화학식 1에서, A는 1가의 양이온이고, A'는 1가의 양이온이며, M은 1가, 2가, 3가 또는 4가의 금속 양이온이고, X는 1가 음이온이며, n은 적어도 1이상이다.

[0097] 상기 A 또는 상기 A'는 하기 화학식 2 내지 화학식 4로 표시되는 화합물을 포함할 수 있다.

[0098] [화학식 2]

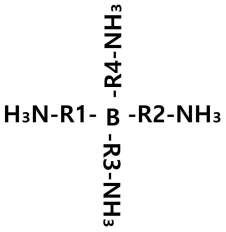
[0099] $H_3N-R-NH_3$

[0100] [화학식 3]



[0101]

[0102] [화학식 4]



[0103]

[0104] 상기 화학식 2 내지 화학식 4에서 B는 3관능 이상 결합이 가능한 비금속, 전이금속 또는 전이후금속이고, R, R1, R2 또는 R3는 $C_{2\sim20}$의 비치환된 또는 치환된 알킬기이며, 치환기는 아미노기(-NH_3), 수산화기(-OH), 시아노기(-CN), 할로겐기, 니트로기(-NO), 메톡시기(-OCH_3) 또는 이들의 조합일 수 있다.

[0105] 상기 화학식 2 내지 화학식 4 물질을 포함할 경우, 내구성이 강화될 수 있으며, 광에 대한 안정성을 향상시킬 수 있다.

[0106] 상기 A 또는 상기 A'는 1가의 유기 양이온, 1가의 무기 양이온 또는 이들의 조합일 수 있다.

[0107] 구체적으로, 페로브스카이트 화합물은 상기 화학식 1 중 A의 종류에 따라, 유무기 하이브리드 페로브스카이트 화합물(organic/inorganic hybrid perovskite compound) 또는 무기금속할라이드 페로브스카이트 화합물(inorganic metal halide perovskite compound)일 수 있다.

[0108] 보다 구체적으로, 상기 화학식 1에서 A가 1가의 유기 양이온일 경우, 페로브스카이트 화합물은 유기물인 A와, 무기물인 M 및 X로 구성되어 유기물과 무기물이 복합 구성된 유무기 하이브리드 페로브스카이트 화합물일 수 있다. 반면, 상기 화학식 1에서 A가 1가의 무기 양이온일 경우, 페로브스카이트 화합물은 무기물인 A, M 및 X로 구성되어 전부 무기물로 구성된 무기금속할라이드 페로브스카이트 화합물일 수 있다.

[0109] 유무기 하이브리드 페로브스카이트 화합물의 경우, 유기물의 장점과 무기물의 장점을 모두 가져 후막(thick film)으로의 제조가 용이하고 재현성이 높으며 엑스선에 대한 내구성(durability) 및 안정성(stability)을 향상시킬 수 있다.

[0110] 한편, 페로브스카이트 화합물이 무기금속할라이드 페로브스카이트 화합물일 경우, 유무기 하이브리드 페로브스카이트 화합물과 같이 후막으로의 제조가 용이하고 재현성이 높다. 또한, 무기금속할라이드의 페로브스카이트 화합물의 경우, 유기물을 사용하지 않기 때문에 유무기 하이브리드 페로브스카이트에 비해 내구성 및 안정성이 더 높다는 장점이 있다.

[0111] 상기 1가의 유기 양이온은 $C_{1\sim24}$의 직쇄 또는 측쇄 알킬, 아민기(-NH_3), 수산화기(-OH), 시아노기(-CN), 할로겐기, 니트로기(-NO), 메톡시기(-OCH_3) 또는 이미다졸리움기가 치환된 $C_{1\sim24}$의 직쇄 또는 측쇄 알킬 또는 이들의 조합일 수 있다.

[0112] 상기 1가의 무기 양이온은 Li^+, Na^+, K^+, Rb^+, Cs^+, Fr^+, $Cu(I)^+$, $Ag(I)^+$, $Au(I)^+$ 또는 이들의 조합일 수 있다.

[0113] 상기 M은 Li^+, Na^+, K^+, Rb^+, Cs^+, Pb^{2+}, Sn^{2+}, Ge^{2+}, Cu^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Ti^{2+}, Zr^{2+}, Hf^{2+}, Rf^{2+}, In^{3+}, Bi^{3+}, Co^{3+}, Sb^{3+}, Ni^{3+}, Al^{3+}, Ga^{3+}, Tl^{3+}, Sc^{3+}, Y^{3+}, La^{3+}, Ce^{3+}, Fe^{3+}, Ru^{3+}, Cr^{3+}, V^{3+}, Ti^{3+}, Si^{4+}, C^{4+}, Ge^{4+}, Hf^{4+}, Zr^{4+}, Ti^{4+} 또는 이들의 조합일 수 있다.

[0114] 상기 X는 F^-, Cl^-, Br^-, I^-, SCN^-, BF_4^- 또는 이들의 조합일 수 있다.

[0115] 또한, 상기 n이 1이면 페로브스카이트 화합물은 2차원(2D) 구조를 가지고, n이 무한대이면 페로브스카이트 화합물을 3차원(3D) 구조를 가질 수 있다.

[0116] 또한, 페로브스카이트 화합물은 2차원 구조 및 2-3차원 또는 3차원 구조를 가질 수 있다.

[0117] 페로브스카이트 화합물이 3차원 구조를 갖는 경우, X, Y 및 Z 방향으로 물질이 만들어지며, 이로 인해, 안정적인 구조를 갖는다.

[0118] 반면에, 페로브스카이트 화합물이 2차원 구조를 갖는 경우, 한쪽 방향이 없는 X와 Y 방향으로 물질이 제작되며, 이와 같은 경우에는 Z방향이 없기 때문에 암전류를 감소 시킬 뿐만 아니라, 3차원 보다 밴드갭을 크게 제작 할 수 있다.

[0119] 따라서, 본 발명의 페로브스카이트 화합물은 2차원 구조 및 2-3차원 또는 3차원 구조를 가짐으로써, 2차원과 3차원의 장점을 모두 포함할 수 있다.

[0120] 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물의 구조에 대해 도 2를 참조하여 설명하기로 한다.

[0121] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물의 구조를 도시한 것이다.

[0122] 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물은 유기물과 무기물이 혼합 구성된 $A_2A'_{n-1}M_nX_{3n+1}$ 화학구조를 가질 수 있다. 구체적으로, A는 BA, A'는 MA이고, M은 Pb이며, X는 I이고, n은 3일 경우, 페로브스카이트 화합물은 $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 의 화학구조를 가질 수 있다.

[0123] 여기서 BA는 n-부틸아민(n-butylammine)이고 MA는 메틸암모늄(methylammonium)이다.

[0124] 또한, X가 I 이외에, Br 또는 Cl과 조합될 경우, 페로브스카이트 화합물은 $(BA)_2(MA)_2Pb_3(I_{1-x}Br_x)_{10}$또는 $(BA)_2(MA)_2Pb_3(I_{1-x}Cl_x)_{10}$의 화학구조를 가질 수 있다. 여기서 x는 $0 < x < 1$이다.

[0125] 화학식 1 구조의 페로브스카이트 화합물은 3차원 구조를 가질 수 있으며, 이로 인해 2차원 구조의 장점인 내구성 개선 및 3차원 구조의 장점인 고흡수율의 장점을 가질 수 있다.

[0126] 페로브스카이트 화합물은 복수 개의 나노결정입자(nanocrystal particle)(이하, '페로브스카이트 나노결정입자'라고 함) 형태로 포토컨덕터층(130)에 포함될 수 있다.

[0127] 페로브스카이트 화합물의 입자 크기, 즉, 페로브스카이트 나노결정입자의 크기는 1 ㎚ 내지 900 ㎚ 범위일 수 있고, 바람직하게는 1 ㎚ 내지 500 ㎚ 범위일 수 있다.

[0128] 페로브스카이트 나노결정입자의 크기가 1 ㎚ 미만일 경우, 입자 크기에 의해 밴드갭(band gap)이 변하게 되고, 입자 크기의 분포를 조절하기 어려우며, 미세한 조절을 요구하기 때문에 대량생산에 불리하다는 문제가 있다.

[0129] 페로브스카이트 나노결정입자의 크기가 900 ㎚를 초과할 경우, 상온에서의 열적 이온화 및 전하 운반체의 비편재화에 의해서 효율이 감소되는 문제가 있다. 또한 코팅의 어려움으로 인하여 제조가 어려우며, 플렉서블 엑스선 검출기에 적용이 불가능하다.

[0130] 페로브스카이트 나노결정입자는 코어-쉘(core-shell) 구조를 가질 수 있다.

[0131] 코어-쉘 구조의 페로브스카이트 나노결정입자는 제1 페로브스카이트 나노결정입자 코어 및 제1 페로브스카이트 나노결정입자 코어를 감싸며 제2 페로브스카이트 나노결정입자를 포함하는 쉘을 포함할 수 있다. 여기서, 제1 페로브스카이트 나노결정입자 및 제2 페로브스카이트 나노결정입자는 서로 상이한 물질이 사용될 수 있다.

[0132] 페로브스카이트 나노결정입자는 페로브스카이트 나노결정입자 표면 상에 페로브스카이트 나노결정입자의 표면을 둘러싸도록 형성된 유기 리간드를 더 포함할 수 있다.

[0133] 상기 유기 리간드는 알킬 할라이드(alkyl halide)를 포함할 수 있고, 상기 알킬 할라이드는 알킬(alkyl)-G의 구조일 수 있다. 여기서, G에 해당하는 할로겐(Halogen) 원소는 F, Cl, Br 또는 I를 포함할 수 있다.

[0134] 또한, 알킬(alkyl) 구조는 C_nH_{2n+1}의 구조를 가지는 비고리형 알킬(acyclic alkyl), $C_nH_{2n+1}OH$와 같은 구조를 가지는 일차 알코올(primary alcohol), 이차 알코올(secondary alcohol), 삼차 알코올(tertiary alcohol), alkyl-N의 구조를 가지는 알킬아민(alkylamine)(ex. hexadecyl amine, 9-octadecenylamine, 1-amino-9-octadecene($C_{19}H_{37}N$)), p-치환된 아닐린(p-substituted aniline), 페닐 암모늄(phenyl ammonium) 또는 플루오린

암모늄(fluorine ammonium)을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0135] 포토컨덕터층(130)의 트랩 밀도(trap density)는 10^{8} cm^{-2} 내지 10^{16} cm^{-2}일 수 있다.

[0136] 종래의 직접변환 엑스선 검출기에 사용되는 아몰포스 셀레늄(a-Se) 포토컨덕터층은 트랩 밀도가 높아 엑스선 검출기 동작을 하지 위해서는 고전압을 인가하여야 한다. 인가 전압이 높아지면 엑스선 검출기에 무리한 전계가 가해져 검출기의 수명이 감소되는 문제점이 있다.

[0137] 그러나, 본 발명의 엑스선 검출기에 사용되는 포토컨덕터층(130)은 트랩 밀도가 감소되어 구동 특성을 향상시킬 수 있다.

[0138] 포토컨덕터층(130)은 트랩 밀도(trap density)가 10^{8} cm^{-2} 미만일 경우, 물질 특성상 제조가 어려우며, 10^{16} cm^{-2}를 초과할 경우, 고효율의 포토컨덕터층(130)으로 동작하는데 다소 문제가 있다.

[0139] 포토컨덕터층(130)은 트랩 힐링 물질(trap healing material)을 더 포함할 수 있다.

[0140] 포토컨덕터층(130)은 트랩 힐링 물질을 더 포함할 경우, 포토컨덕터층(130)은 10^{7} cm^{-2} 내지 10^{15} cm^{-2}의 트랩 밀도를 가질 수 있고, 이로 인해, 구동 전압을 낮출 수 있다. 또한, 트랩 밀도가 감소함으로써, 전자와 정공이 트랩에 걸리지 않고 빠르게 이동할 수 있어 동영상 엑스선 이미지 센서로도 구현 할 수 있다.

[0141] 트랩 힐링 물질은 그래핀 양자점(graphene quantum dot), 풀러렌(fullerene, C_{60}) 또는 이들의 유도체 등으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0142] 트랩 힐링 물질의 입자 크기는 1 ㎚ 내지 500 ㎚ 범위일 수 있다.

[0143] 포토컨덕터층(130)은 유기 바인더를 더 포함할 수 있다.

[0144] 유기 바인더는 페로브스카이트 화합물과 함께 포토컨덕터층(130)에 포함되어, 포토컨덕터층(130)의 가요성(flexibility)을 향상시킬 수 있다.

[0145] 미래의 소자는 유연(flexible)한 소자가 요구 되어 지고 있다. 그러나 종래에 사용되는 엑스선 검출기는 쉽게 구부릴 수 없으며, 구부리는 순간 엑스선 검출기의 손상으로 인해 작동을 하지 않는 문제점이 있다. 특히, 치과에서 사용하고 있는 검출기의 경우 사람의 구강 구조에 따라 플렉서블 엑스선 검출기가 필요하다.

[0146] 플렉서블 엑스선 검출기는 환자의 고통을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라, 다양한 각도(딱딱한 검출기의 경우 구강에서 촬영하지 못하는 부분도 발생)에서의 촬영이 가능함으로써 고성능의 이미지를 구현 할 수 있다.

[0147] 본 발명의 엑스선 검출기는 포토컨덕터층(130)에 가용성을 향상시킬 수 있는 유기 바인더를 포함함으로써, 플렉서블 엑스선 검출기 제조가 용이하다.

[0148] 유기 바인더는 예를 들어, 폴리비닐 부티랄 수지, 폴리비닐 클로라이드 수지, 아크릴 수지, 페녹시 수지, 폴리에스테르 수지, 폴리비닐 포르말 수지, 폴리아미드 수지, 폴리스티렌 수지, 폴리카보네이트 수지, 폴리비닐 아세테이트 수지, 폴리우레탄 수지, 에폭시 수지 또는 이들의 조합일 수 있다.

[0149] 포토컨덕터층(130)에는 페로브스카이트 화합물 및 유기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함될 수 있다.

[0150] 포토컨덕터층(130)은 엑스선을 흡수하여 전자와 정공을 생성시키는 역할을 하는데, 유기 바인더가 포토컨덕터층(130)에 전술한 중량비 초과로 너무 많이 포함될 경우, 포토컨덕터층에서 발생하는 전자와 정공의 양이 적어져, 분해능 및 해상도가 떨어지게 되고, 이로 인해 엑스선 검출기의 성능을 저하시킬 수 있다.

[0151] 포토컨덕터층(130)은 무기 바인더(inorganic binder)를 더 포함할 수 있다.

[0152] 포토컨덕터층(130)의 물질은 기판과의 접착력이 중요한데, 포토컨덕터층(130)이 무기 바인더를 더 포함할 경우, 포토컨덕터층(130)과 기판(110)과의 접착력을 향상시킬 수 있다.

[0153] 구체적으로, 무기 바인더는 페로브스카이트 화합물과 함께 포토컨덕터층(130)에 포함되어, 포토컨덕터층(130)의 점착성(adhesion)을 향상시킬 수 있다. 보다 구체적으로, 포토컨덕터층(130)은 페로브스카이트 화합물과 함께 무기 바인더를 포함함으로써, 페로브스카이트 화합물과 무기 바인더와의 접착력이 향상되어, 기판(110)과 포토컨덕터층(130) 사이의 접착력을 향상시킬 수 있다.

[0154] 무기 바인더는 TiO_2 나노입자, SiO_2 나노입자, Al_2O_3 나노입자, VO_2 나노입자, 층상구조 화합물, 금속알콕사이드

및 금속할라이드 등으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0155] 포토컨덕터층(130)에는 페로브스카이트 화합물 및 무기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함될 수 있다.

[0156] 무기 바인더가 포토컨덕터층(130)에 전술한 중량비 초과로 너무 많이 포함될 경우, 포토컨덕터층에서 발생하는 전자와 정공의 양이 적어져, 분해능 및 해상도가 떨어지게 되고, 이로 인해 엑스선 검출기의 성능을 저하시킬 수 있다.

[0157] 무기 바인더의 입자 크기는 1 ㎚ 내지 100 ㎚ 범위일 수 있다.

[0158] 무기 바인더의 입자 크기가 1 ㎚ 미만일 경우, 균일한 입자를 제어하는데 문제가 있고, 100 ㎚를 초과할 경우, 엑스선의 산란을 크게 만들어 고해상도의 이미지를 구현하는데 어려움이 있다.

[0159] 포토컨덕터층(130)은 페로브스카이트 화합물을 용매에 용해시킨 페로브스카이트 화합물 용액을 이용한 용액코팅 방법 및 증착 방법을 통해 기판(110) 상에 형성될 수 있다.

[0160] 용액코팅 방법은 예를 들어, 스핀코팅(spin coating), 스프레이코팅(spray coating), 울트라스프레이코팅(ultra-spray coating), 전기방사코팅, 슬롯다이코팅(slot die coating), 그라비아코팅(gravure coating), 바코팅(bar coating), 롤코팅(roll coating), 딥코팅(dip coating), 쉬어코팅(shear coating), 스크린 프린팅(screen printing), 잉크젯 프린팅(inkjet printing) 또는 노즐 프린팅(nozzle printing) 등이 있다.

[0161] 증착 방법은 예를 들어, 감압, 상압 또는 가압조건에서, 스퍼터링(sputtering), 원자층증착(ALD), 화학기상증착(CVD), 열증착(thermal evaporation), 동시증발법(co-evaporation) 또는 플라즈마 강화 화학기상증착(PECVD) 등이 있다.

[0162] 바람직하게는 포토컨덕터층(130)을 용액(solution) 공정으로 형성함으로써, 제조공정이 단순해지며, 제조비용을 절감할 수 있다.

[0163] 포토컨덕터층(130)은 높은 에너지인 엑스선을 흡수하기 위해, 후막(thick film)으로 제조되어야 한다.

[0164] 포토컨덕터층(130)이 충분히 두꺼운 후막으로 형성될 경우, 엑스선 흡수에 의해 전자와 정공 생성되더라도 외부의 인가 전압 없이는 제1 전극(픽셀 전극)(120)으로 형성하여 전자 또는 정공이 이동할 수 없고, 높은 인가 전압에 의해 전계가 형성되어 전자 또는 정공을 제1 전극(픽셀 전극)(120) 쪽으로 수집할 수 있다.

[0165] 포토컨덕터층(130)은 1 ㎛ 내지 1,000 ㎛ 범위의 두께로 비교적 두껍게 형성될 수 있다.

[0166] 포토컨덕터층(130)의 두께가 1,000 ㎛를 초과할 경우, 포토컨덕터층(130)이 기판(110)으로부터 박리되거나 접착력이 떨어지는 단점이 있고, 포토컨덕터층(130)의 두께가 1 ㎛ 미만일 경우, 엑스선의 흡수량이 적어 신호가 노이즈 수준으로 약한 단점이 있다.

[0167] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기의 포토컨덕터층과 대비하여, 태양전지의 광흡수층은 엑스선이 아닌 가시광선 영역의 빛에 의해 전자-정공 쌍이 생성되고, 이것은 양단의 전극에 인가전압 없이도 자연적으로 이동하게 된다. 태양전지의 광흡수층의 두께는 엑스선 검출기의 포토컨덕터층 대비 박막(thin film)이므로, 확산거리가 길어 전자와 정공이 광흡수층 내에서 트랩 없이 전극으로 도달할 수 있다.

[0168] 고해상도의 엑스선 이미지 및 동영상을 구현하기 위해서는 포토컨덕터층(130)에서 생성된 전하의 이동도가 매우 중요하다.

[0169] 현재까지의 직접방식 엑스선 검출기의 경우, 포토컨덕터층(130)에서 생성된 전하가 트랩에 갇혀 픽셀 어레이로 이동하는 속도가 느려서 엑스선 동영상 이미지 센서를 제조할 수 없었다. 또한, 트랩에 갇힌 전하를 각 픽셀로 이동시키기 위해서는 높은 인가전압을 필요로 하여, 각 픽셀에서 생성된 이미지 정보와 이후에 전달되는 정보가 중첩이 되거나 높은 전압을 필요로 하는 단점이 있었다.

[0170] 본 발명의 실시예에 따르면, 포토컨덕터층(130)이 페로브스카이트 화합물을 포함하여 형성되므로, 포토컨덕터층(130)에서 생성된 전하가 트랩에 갇혀 이동하는 시간이 지연되는 것을 방지할 수 있어 응답 속도가 빠르고, 이로 인해 엑스선에 대한 감도, 흡광 특성 및 시간 분해능이 우수하며, 낮은 저항 특성을 가질 수 있다.

[0171] 제2 전극(140)은 포토컨덕터층(130) 상에 형성된다.

[0172] 제2 전극(140)은 공통 전극일 수 있다.

[0173] 제2 전극(140)은 전기적 특성이 우수한 전도성 물질로 형성될 수 있다.

[0174] 제2 전극(140)은 예를 들어, 알루미늄(Al), 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 인듐주석산화물(ITO, Indium Tin Oxide), 인듐아연산화물(IZO, Indium Zinc Oxide), 알루미늄아연산화물(AZO, Aluminum Zinc Oxide), 불소산화주석(FTO, Fluorine Tin Oxide), 탄소나노튜브(CNT, Carbon Nano Tube), 그래핀(graphene) 및 폴리에틸렌디옥시티오펜: 폴리스티렌설포네이트(PEDOT:PSS)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하도록 형성될 수 있다.

[0175] 본 발명의 일 측에 따라, 제2 전극(140)은 제1 전극(120)과 서로 동일하거나 상이한 물질을 이용하여 형성될 수 있다.

[0176] 이하에서는 제2 전극(140)의 구조에 대해 도 3를 참조하여 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0177] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기의 평면도를 도시한 것이다.

[0178] 도 3을 참조하면, 제1 전극(120)은 기판(110) 상에 형성되고, 포토컨덕터층(130)은 제1 전극(120) 상에 형성되며, 제2 전극(140)은 포토컨덕터층(130) 상에 형성된다.

[0179] 제1 전극(120)은 복수 개의 픽셀 전극 구조로 형성될 수 있고, 제2 전극(140)은 제1 전극(120)을 모두 가리는 단일 전극 구조로 형성될 수 있다.

[0180] 본 발명의 일 측에 따라, 제2 전극(140)은 포토컨덕터층(130)과 같거나 작은 사이즈를 가지도록 형성될 수 있다. 제2 전극(140)의 크기가 기판(110)의 크기보다 클 경우, 기판(110) 측면으로 전류가 흘러 쇼트(short)가 발생할 수 있다.

[0181] 이하에서는, 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기(100)의 작용을 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기(100)의 작용을 설명함에 있어서, 기판(110)으로서 박막트랜지스터(TFT) 어레이 기판을 예시적으로 하여 기재하지만, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0182] 제2 전극(140)에는 전압공급원으로부터 전압이 공급된다. 구체적으로, 포토컨덕터층(130) 물질의 전자/정공 이동도 또는 암전압(dark current)에 대한 광 전압(photo current)의 비율 등을 고려하여 전압공급원으로부터 양(+)전압 또는 음(-)전압을 결정하고, 제2 전극(140)에 양(+)전압 또는 음(-)전압을 공급할 수 있다.

[0183] 제2 전극(140)을 통과한 엑스선(X-ray)이 포토컨덕터층(130)에 흡수되면, 포토컨덕터층(130)에는 전자-정공 쌍(electron-hole pair)이 생성된다. 전자-정공 쌍의 양은 포토컨덕터층(130)에 흡수되는 엑스선의 에너지에 달라진다.

[0184] 포토컨덕터층(130)에 전자-정공 쌍이 생성된 후, 제2 전극(140)과 제1 전극(120) 사이에 전압을 인가하여 제2 전극(140)과 제1 전극(120) 사이에 전위차를 발생시키면, 제2 전극(140)과 제1 전극(120) 사이의 전위차에 의해, 포토컨덕터층(130)에 생성된 전자-정공 쌍은 각각 제2 전극(140) 및 제1 전극(120)으로 분리된다.

[0185] 예를 들어, 제2 전극(140)에 음(-)전압을 인가하면, 포토컨덕터층(130)에서 생성된 정공(hole)은 제2 전극(140) 쪽으로 이동하게 되고 전자(electron)는 제1 전극(120) 쪽으로 이동하게 된다. 반면, 제2 전극(140)에 양(+)전압을 인가하면, 포토컨덕터층(130)에서 생성된 전자는 제2 전극(140) 쪽으로 이동하게 되고 정공은 제1 전극(120) 쪽으로 이동하게 된다.

[0186] 즉, 제2 전극(140)이 형성된 포토컨덕터층(130)에는 엑스선 조사시 광전효과에 의해 전자-정공 쌍이 형성되고, 제2 전극(140)에 공급된 전압에 의해 전계(electric field)가 형성되어 제1 전극(120)으로 전자 또는 정공이 수집될 수 있다.

[0187] 제1 전극(120)으로 이동한 전하(전자 또는 정공)는 기판(110)에 형성된 커패시터(미도시)에 저장되고, 커패시터에 전하가 저장되어 엑스선 검출 전압을 저장할 수 있다.

[0188] 즉, 포토컨덕터층(130)에 엑스선이 조사됨에 따라, 커패시터(미도시)에 소정의 전압이 형성되고, 커패시터에 걸리는 소정의 전압은 포토컨덕터층(130)에 조사된 엑스선 량에 따라 달라지며, 이러한 소정의 전압은 기판(110)에 형성된 박막트랜지스터(TFT)(미도시)의 동작에 의해 전기적 신호로 읽힐 수 있다.

[0189] 구체적으로, 기판(110)에 형성된 박막트랜지스터에 전기적 신호를 입력하여 박막트랜지스터가 턴온(turn-on)되면, 커패시터에 저장된 전하는 박막트랜지스터의 드레인 전극을 통해서 신호처리부(미도시)로 전송되고, 신호처리부는 전하의 양을 가지고 측정 대상물체의 엑스선 투과도를 측정하여서 영상을 구현할 수 있다.

[0190] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기(100)는 고감도의 고성능 특성을 가져 의료용(흉부용 또는 치과용) 엑스

선 검출기, 산업용 엑스선 불량 검출기, 엑스선 분광 분석기 또는 CT 기능을 가지는 고해상도 엑스선 이미지 센서로 적용이 가능하다.

[0191] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기(100)는 기존 간접방식의 엑스선 검출기가 인지할 수 없는 국소의 이미지를 인지함으로써, 엑스선 촬영을 통해 고해상도의 이미지를 얻어 질병 조기 진단 및 결정성 물질의 구조 분석에 이용이 가능하다.

[0192] 지금까지는 도 1을 참조하여 쇼트키형의 엑스선 검출기에 대해 설명하였다. 이하에서는 도 4a 내지 4f를 참조하여 이종접합 형태의 엑스선 검출기에 대해 설명하기로 한다.

[0193] 도 4a 내지 4f는 본 발명의 실시예에 따른 이종접합형 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

[0194] 도 4a는 본 발명의 실시예에 따른 PN형(PN type)의 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

[0195] 도 4a를 참조하면, 엑스선 검출기(200a)는 기판(210), 제1 전극(220), 전자 전달층(250), 포토컨덕터층(230) 및 제2 전극(240)을 포함한다.

[0196] 도 4a는 제1 전극(220)과 포토컨덕터층(230) 사이에 전자 전달층(250)을 형성하는 것을 제외하면 도 1(쇼트키형)과 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0197] 전자 전달층(250)은 예를 들어, 티타늄산화물(TiO_x), 아연산화물(ZnO_x), 인듐산화물(InO_x), 주석산화물(SnO_x), 텅스텐산화물(WO_x), 니오븀산화물(NbO_x), 몰리브덴산화물(MoO_x), 마그네슘산화물(MgO_x), 지르코늄산화물(ZrO_x), 스트론튬산화물(SrO_x), 란탄산화물(LaO_x), 바나듐산화물(VO_x), 알루미늄산화물(AlO_x), 이트륨산화물(YO_x), 스칸듐산화물(ScO_x), 갈륨산화물(GaO_x), 인듐산화물(InO_x), 이들의 혼합물 또는 이들의 복합물을 포함하도록 형성될 수 있다.

[0198] 전자 전달층(250)은 용액을 이용하여 다양한 용액코팅 방법 및 증착방법을 통해 형성될 수 있다.

[0199] 용액코팅 방법은 예를 들어, 스핀코팅(spin coating), 스프레이코팅(spray coating), 울트라스프레이코팅(ultra-spray coating), 전기방사코팅, 슬롯다이코팅(slot die coating), 그라비아코팅(gravure coating), 바코팅(bar coating), 롤코팅(roll coating), 딥코팅(dip coating), 쉬어코팅(shear coating), 스크린 프린팅(screen printing), 잉크젯 프린팅(inkjet printing) 또는 노즐 프린팅(nozzle printing) 등이 있다.

[0200] 증착방법은 예를 들어, 감압, 상압 또는 가압조건에서, 스퍼터링(sputtering), 원자층증착(ALD), 화학기상증착(CVD), 열증착(thermal evaporation), 동시증발법(co-evaporation) 또는 플라즈마 강화 화학기상증착(PECVD) 등이 있다.

[0201] 전자 전달층(250)은 전자를 포토컨덕터층(230)으로 이동시키는 층으로서, 전자가 포토컨덕터층(230)으로 효과적으로 전달되게 하고, 포토컨덕터층(230)에서 정공과 전자의 밀도가 균형을 이루도록 하여 효율을 향상시킬 수 있다.

[0202] 전자 전달층(250)은 포토컨덕터층(230)에서 생성된 전자가 제1 전극(220) 또는 제2 전극(240)으로 원활하게 이동되도록 하고, 이로 인해 쇼트키형에 비해 암전류(dark current)를 감소시킬 수 있다.

[0203] 도 4b는 NP형(NP type)의 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

[0204] 도 4b를 참조하면, 엑스선 검출기(200b)은 기판(210), 제1 전극(220), 포토컨덕터층(230), 전자 전달층(250) 및 제2 전극(240)을 포함한다.

[0205] 도 4b는 포토컨덕터층(230)과 제2 전극(240) 사이에 전자 전달층(250)을 형성하는 것을 제외하면 도 1(쇼트키형)과 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0206] 전자 전달층(250)은 포토컨덕터층(230)에서 생성된 전자가 제1 전극(220) 또는 제2 전극(240)으로 원활하게 이동되도록 하고, 이로 인해 쇼트키형에 비해 암전류를 감소시킬 수 있다.

[0207] 도 4c는 본 발명의 실시예에 따른 PIN형(PIN type)의 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

[0208] 도 4c를 참조하면, 엑스선 검출기(200c)은 기판(210), 제1 전극(220), 전자 전달층(250), 포토컨덕터층(230), 정공 전달층(260) 및 제2 전극(240)을 포함한다.

[0209] 도 4c는 포토컨덕터층(230)과 제2 전극(240) 사이에 정공 전달층(260)을 더 형성하는 것을 제외하면 도 4a와 동

일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0210] 정공 전달층(260)은 예를 들어, 티오펜계, 파라페닐렌비닐렌계, 카바졸계 또는 트리페닐아민계 물질을 적어도 어느 하나를 포함하도록 형성될 수 있다.

[0211] 정공 전달층(260)은 용액을 이용하여 다양한 용액코팅 방법 및 증착 방법을 통해 형성될 수 있다.

[0212] 용액코팅 방법은 예를 들어, 스핀코팅(spin coating), 스프레이코팅(spray coating), 울트라스프레이코팅(ultra-spray coating), 전기방사코팅, 슬롯다이코팅(slot die coating), 그라비아코팅(gravure coating), 바코팅(bar coating), 롤코팅(roll coating), 딥코팅(dip coating), 쉬어코팅(shear coating), 스크린 프린팅(screen printing), 잉크젯 프린팅(inkjet printing) 또는 노즐 프린팅(nozzle printing) 등이 있다.

[0213] 증착 방법은 예를 들어, 감압, 상압 또는 가압조건에서, 스퍼터링(sputtering), 원자층증착(ALD), 화학기상증착(CVD), 열증착(thermal evaporation), 동시증발법(co-evaporation) 또는 플라즈마 강화 화학기상증착(PECVD) 등이 있다.

[0214] 정공 전달층(260)은 정공을 포토컨덕터층(230)으로 이동시키는 층으로서, 정공이 포토컨덕터층(230)으로 효과적으로 전달되게 하고, 포토컨덕터층(230)에서 정공과 전자의 밀도가 균형을 이루도록 하여 효율을 향상시킬 수 있다.

[0215] 정공 전달층(260)은 포토컨덕터층(230)에서 생성된 정공이 제 1전극(또는 제2전극)으로 원활하게 이동되도록 하고, 쇼트키형에 비해 암전류를 감소시킬 수 있다.

[0216] 도 4d는 본 발명의 실시예에 따른 NIP형(NIP type)의 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

[0217] 도 4d를 참조하면, 엑스선 검출기(200d)은 기판(210), 제1 전극(220), 정공 전달층(260), 포토컨덕터층(230), 전자 전달층(250) 및 제2 전극(240)을 포함한다.

[0218] 도 4d는 제1 전극(220)과 포토컨덕터층(230) 사이에 정공 전달층(260)을 더 형성하는 것을 제외하면 도 4b와 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0219] 본 발명의 실시예에 따른 NIP 형의 엑스선 검출기는 쇼트키형, PN형 및 NP 형에 비해 암전류를 감소시킬 수 있다.

[0220] 도 4e는 본 발명의 실시예에 따른 PIP형(PIP type)의 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

[0221] 도 4e를 참조하면, 엑스선 검출기(200e)은 기판(210), 제1 전극(220), 정공 전달층(260), 포토컨덕터층(230), 정공 전달층(260) 및 제2 전극(240)을 포함한다.

[0222] 도 4e는 제1 전극(220)과 포토컨덕터층(230) 사이에 전자 전달층(250) 대신에 정공 전달층(260)을 형성하는 것을 제외하면 도 4c와 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0223] 본 발명의 실시예에 따른 PIP형의 엑스선 검출기는 쇼트키형, PN형 및 NP형에 비해 암전류를 감소시킬 수 있다.

[0224] 도 4f는 NIN형(NIN type)의 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

[0225] 도 4f를 참조하면, 엑스선 검출기(200f)은 기판(110), 제1 전극(220), 전자 전달층(250), 포토컨덕터층(230), 전자 전달층(250) 및 제2 전극(240)을 포함한다.

[0226] 도 4f는 포토컨덕터층(230)과 제2 전극(240) 사이에 전자 전달층(250)을 더 형성하는 것을 제외하면 도 4a와 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0227] 본 발명의 실시예에 따른 NIN형의 엑스선 검출기는 쇼트키형, PN형 및 NP형에 비해 암전류를 감소시킬 수 있다.

[0228] 이하, 도 5를 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함하는 엑스선 시스템을 설명하기로 한다.

[0229] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함하는 엑스선 시스템을 나타낸 것이다.

[0230] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 시스템을 의료 분야에 사용한 것을 도시한 것이나, 이에 제한되지 않고 반도체 분야 또는 산업 분야 등 다양한 분야에 적용될 수 있다.

[0231] 도 5를 참조하면, 엑스선 시스템(300)은 엑스선(311)을 발생시키는 엑스선 발생기(310), 엑스선을 검출하기 위한 엑스선 검출기(100), 엑스선 검출기(100)를 구동시키는 구동부(320), 엑스선 검출기(100)의 엑스선 검출 전압을 처리하는 데이터 처리부(330), 엑스선 검출 전압에 따른 영상 출력 신호를 출력하는 영상 신호 출력부

(340) 및 영상 신호에 따라 영상을 출력하는 디스플레이 장치(350)를 포함할 수 있다.

[0232] 엑스선 발생기(310)에서 발생된 엑스선(311)은 환자(360)의 피검사 부위(361)에 조사될 수 있다. 환자(360)의 피검사 부위(361)를 투과하는 엑스선은 엑스선 검출기(100)에 조사될 수 있다.

[0233] 엑스선 발생기(310)는 형광색 등을 측정하기에 효과적인 폴리크로메틱(polychromatic) 방식으로서, 촬영하고자 하는 피검체의 종류 및 엑스선 시스템의 사용 환경에 따라 선형, 원형, 아크형 또는 이들의 조합 중 어느 하나로 배열될 수 있고, 그 배열 밀도가 조절될 수 있다.

[0234] 또한, 엑스선 발생기(310)는 하나의 단위 엑스선 발생기 또는 복수 개의 단위 엑스선 발생기일 수 있고, 겐트리(gentry) 엑스선 발생기일 수 있다.

[0235] 엑스선 발생기(310)는 캐소드 전극, 에미터, 애노드 전극, 게이트 전극, 포커싱 전극 및 하나 이상의 절연 기둥을 포함할 수 있다. 또한, 엑스선 발생기(310)는 진공에서 작동될 수 있다.

[0236] 캐소드 전극은 유리, 금속, 석영, 규소 또는 알루미나로 형성된 기판의 상부에 위치하는 것으로서, 캐소드 전극 상에는 점광원 형태 및/또는 면광원 형태의 에미터가 위치하게 된다.

[0237] 에미터는 전자를 방출하는 역할을 수행하는 것으로서, 점광원 형태를 가질 수 있다. 이러한 점광원 형태의 에미터는 전자가 방출되는 선단이 뾰족한 형상을 가지는 한 그 형태가 특별히 제한되지는 않는다. 다만, 바람직하게는, 원뿔형, 사면체형 및 끝이 뾰족한 선단을 구비한 원기둥형 및 끝이 뾰족한 선단을 구비한 다면체형 중 어느 하나일 수 있다.

[0238] 또한, 에미터의 종류는 특별히 제한되지 않으나, 금속, 탄소계열 물질로 구성된 전도성 물질이 사용될 수 있다.

[0239] 한편, 에미터는 방출되는 전자의 궤적을 조절하거나 원하는 엑스선 발생기의 성능 등에 따라 점광원 형태뿐만 아니라 면광원 형태의 에미터가 사용될 수 있고, 이 경우, 면광원 형태의 에미터는 규소, 금속, 탄소계열 위에 형성된 탄소구조물 또는 금속이 사용될 수 있다.

[0240] 애노드 전극은 에미터의 상측에 형성되고, 애노드 전극에는 전원을 인가하기 위한 전극 및/또는 DC 전원공급기가 형성될 수 있다.

[0241] 이러한 애노드 전극의 재료는 일반적으로 구리, 텅스텐, 망간, 몰디브 또는 이들의 조합을 포함할 수 있고, 박막형 엑스레이의 경우 애노드 전극은 금속 박막으로 형성될 수 있다.

[0242] 이러한 구성으로 인해, 에미터가 전자를 방출하는 경우에 방출된 전자는 애노드 전극을 구성하는 금속에 충돌한 후, 반사 또는 그 금속을 통과하면서 엑스선을 발생시킬 수 있다.

[0243] 엑스선 검출기(100)는 제공된 엑스레이(311)의 강도(intensity)에 대응하는 엑스선 검출 전압을 데이터 처리부(330) 및 영상 신호 출력부(340)를 거쳐 디스플레이 장치(350)로 제공할 수 있다.

[0244] 엑스선 검출기(100)는 본 발명의 실시예에 따른 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층을 포함한다.

[0245] 엑스선 검출기(100)는 도 1과 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0246] 디스플레이 장치(350)는 영상 신호에 대응하는 엑스선 영상을 실시간으로 디스플레이할 수 있다. 일례로, 디스플레이 장치(350)는 액정표시장치(LCD, Liquid Crystal Display) 등으로 구성될 수 있다.

[0247] 이하 도 6을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함하는 엑스선 회절(XRD) 분석 장치에 대해 설명하기로 한다.

[0248] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 엑스선 회절(XRD) 분석 장치를 도시한 이미지이다.

[0249] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 엑스선 회절(XRD) 분석 장치에 사용될 수 있다.

[0250] 도 6을 참조하면, 엑스선 회절(XRD) 분석 장치(400)는 엑스선을 조사하는 엑스선 발생기(420) 및 피검체(410)에 부딪혀 반사 또는 회절되는 엑스선을 검출하는 엑스선 검출기(430)를 포함한다.

[0251] 피검체(410)는 엑스선 검출기(430)와 소정의 거리만큼 이격되고, 엑스선 발생기(420) 및 엑스선 검출기(430)는 피검체(410)를 중심으로 소정의 각도를 가지도록 배치될 수 있다. 다만, 소정의 거리 및 각도는 엑스선 시스템의 종류 및 사용 환경에 따라 변경될 수 있다.

[0252] 엑스선 발생기(420)는 도 5와 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0253] 엑스선 검출기(430)는 본 발명의 실시예에 따른 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층을 포함한다. 엑스선 검출기(430)는 도 1과 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0254] 엑스선 회절(XRD) 분석 장치(400)는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기(430)를 포함함으로써, 엑스선에 대한 내구성 및 안정성을 향상시킬 수 있다.

[0255] 또한, 엑스선 회절(XRD) 분석 장치(400)는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기(430)를 사용하여 국소의 이미지를 인지함으로써, 엑스선 촬영을 통해 고해상도의 이미지를 얻고, 결정성 물질의 구조 분석에 이용이 가능하며, 성능을 향상시킬 수 있다.

[0256] 또한, 엑스선 회절(XRD) 분석 장치(400)는 측정하고자 하는 샘플에 엑스선의 각도를 변화시키면서 회절되는 엑스선의 강도를 기록하여 강도가 다른 복수의 회절피크로부터 패턴을 얻을 수 있다. 이를 통해, 재료의 성분을 분석할 수 있고, 재료의 배향성을 측정 및 해석할 수 있다.

[0257] 이하 도 7을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함하는 비파괴 검사 장치의 응용 분야에 대해 설명하기로 한다.

[0258] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 비파괴 검사 장치의 응용 분야를 도시한 이미지이다.

[0259] 본 발명의 실시예에 따른 비파괴 검사 장치는 엑스선을 조사하는 엑스선 발생기 및 피검체에 투과되는 엑스선을 검출하는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함한다.

[0260] 엑스선 발생기는 도 5과 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0261] 엑스선 검출기는 피검체를 사이에 두고 엑스선 발생기 반대측에 배치된다.

[0262] 엑스선 검출기는 본 발명의 실시예에 따른 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층을 포함한다.

[0263] 엑스선 검출기는 도 1과 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0264] 본 발명의 실시예에 따른 비파괴 검사 장치는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함함으로써, 엑스선에 대한 내구성 및 안정성을 향상시킬 수 있다.

[0265] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 비파괴 검사 장치는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 사용하여 국소의 이미지를 인지함으로써, 엑스선 촬영을 통해 고해상도의 이미지를 얻고, 결정성 물질의 구조 분석에 이용이 가능하며, 성능을 향상시킬 수 있다.

[0266] 한편, 각종 구조물(반도체 재료, 석유 배관, 기구, 구조물, 보수 검사 등)은 급속히 대형화, 고압화 또는 고속화되어 있어, 그것의 품질과 규모에 큰 변화를 가져오고 있으며, 아울러 안전성에 대한 신뢰도가 중요한 문제로 대두되고 있다.

[0267] 모든 재료는 완전무결할 수 없기 때문에 수명이 영구적일 수 없으므로, 재료로부터 결함이 있을 뿐만 아니라 가공 중 및 사용 중에도 결함이 발생하고 성장함으로 재료의 수명에 영향을 준다.

[0268] 본 발명의 실시예에 따른 비파괴 검사 장치는 이러한 구조물에 어느 정도의 결함이 존재하는지, 그 결함이 이들의 사용조건에서 얼마나 유해한지를 판단하는 자료를 제공할 수 있다. 즉, 본 발명의 실시예에 따른 비파괴 검사 장치를 이용하여 구조물의 상태를 확인하여 위해하다고 판단되는 결함 등을 미리 기록하여 수명을 연장시킬 수 있다.

[0269] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 관전압(Tube voltage)에 따라 응용되는 분야가 다르다. 엑스선 검출기의 응용분야에 따른 관전압 및 공간분해능을 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

[0270]

응용분야	관전압(kpV)	공간분해능(lp/mm)
결정학(crystallography)	8-20	10

비파괴 검사	30-600	5-10
흉부	80-150	~6
맘모(mommo)	20-30	15-20
덴탈	50-70	7-10
마이크로 CT	24-50	20

[0272] 표 1을 참조하면, 예를 들어, 맘모의 경우 뼈가 없기 때문에 관전압을 낮게 조사해도 되지만, 흉부의 경우 뼈와 피로 구성되어 있어 인체 내를 투과해야 하기 때문에 관전압이 크게 조사된다. 이와 같이, 응용분야에 따라 엑스선 검출기에 관전압을 다르게 조사하게 된다.

[0273] 또한, 관전압이 달라짐에 따라 포토컨덕터층의 두께는 달라지게 된다. 구체적으로, 더 큰 에너지의 포톤(photon)들을 흡수하기 위해서는 포토컨덕터층의 두께는 두껍게 형성돼야 하며, 포토컨덕터층의 구성원소에 따라 그 두께 또한 달라질 수 있다.

[0274] 엑스선은 에너지가 높기 때문에 어레이 기판의 트랜지스터 및 커패시터 등의 손상을 최소화하기 위해, 포토컨덕터층에서 엑스선을 90% 이상 흡수하는 것이 가장 이상적이지만, 이를 위해서는 포토컨덕터층의 두께가 두꺼워진다는 단점이 있다. 따라서 최소한 10% 이상을 흡수하는 포토컨덕터층을 제조해야 하며, 바람직하게는 63% 이상의 흡수를 갖는 두께로 제조하는 것이 바람직하다.

[0275] 이하, 본 발명의 실시예 및 비교예를 기재한다. 하기 실시예는 본 발명의 실시예일뿐 본 발명이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0277] **실시예**

[0278] **실시예 1**

[0279] $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 포토컨덕터층이 구비된 엑스선 검출기를 제조하였다.

[0280] 불소 함유 산화주석이 코팅된 유리 기판(FTO; F-doped SnO_2, 8 ohms/sq, Pilkington, 이하 FTO 기판)을 25 x 25 ㎜ 크기로 절단한 후, 끝 부분 (10 ㎜)을 에칭하여 부분적으로 FTO를 제거하였다.

[0281] 절단 및 부분 에칭된 FTO 기판 상에 전자 전달층으로서 약 50 ㎚ 두께의 치밀한 구조의 TiO_2 박막을 분무 열분해법(spray pyrolysis deposition)으로 제조하였다. 분무 열분해는 TAA(Titanium acetylacetonate):EtOH (1:9v/v%) 용액을 이용하여 450 ℃ FTO 기판 상에 분무하여 제조하였다.

[0282] $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 용액의 제조를 위해, BA 파우더, MAI 파우더 및 PbI_2 파우더를 1:1:1의 몰 비율로 DMF(N,N, dimethyl formamide, N,N, 디메틸 포름아미드) 용매에 넣어 60 ℃에서 30분간 용해시켰다. 여기서, BA는 부틸아민(n-butylammine)이고, MA는 메틸암모늄(methylammonium)을 의미하고, 이때 제조된 $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 용액은 $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 함량이 40 wt%이다.

[0283] 이후, 120 ℃로 유지시킨 핫플레이트(hot plate)에 전자 전달층/에칭된 FTO 기판을 배치시키고, 전자 전달층/에칭된 FTO 기판 상에 $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 용액으로 스프레이 코팅하여 약 100 ㎛ 두께의 포토컨덕터층을 형성하였다.

[0284] 이후, 열증착기(thermal evaporator)를 이용하여 약 60 ㎚ 두께의 금(Au) 전극을 포토컨덕터층/전자 전달층/FTO 기판 상에 형성하였다. 여기서, 포토컨덕터층의 면적은 1 ㎠로 고정하였다.

[0285] **비교예 1**

[0286] 카드뮴 텔루라이드(CdTe) 포토컨덕터층이 구비된 엑스선 검출기를 제조하였다.

[0287] 일반적인 실리콘(Si) 기판 위에 스퍼터링을 통해 약 700 ㎚ 티타늄(Ti) 전극을 증착하였다. 이후 소결된 고순도 CdTe 파우더(99.99%)를 Ti/Si 기판 위에 열증착기를 이용하여 약 160 ㎛ 두께의 포토컨덕터층을 형성하였다. 열증착기를 이용하여 약 60 ㎚ 두께의 Au 전극을 CdTe/Ti/Si 기판 위에 형성하였다.

[0289] **특성 평가**

[0290] 하기 표 2는 실시예 1을 따른 페로브스카이트 화합물 포토컨덕터층을 포함하는 엑스선 검출기 및 비교예 1을 따른 카드뮴 텔루라이드(CdTe) 포토컨덕터층을 포함하는 엑스선 검출기의 제조방법 조건을 비교한 것이다.

표 2

[0291]

	실시예 1	비교예 1
샘플 제조 방법	스프레이 코팅 (Spray Coating)	열 증착 (Thermal Evaporator)
1회 공정 예상시간	~ 180 분	~ 900 분
공정 온도	120 ℃	~ 400 ℃
진공(Vacuum)	진공 필요 없음 (No Vacuum)	고진공 ($2x10^{-5}$ Torr)
예상 재료비	10 만원 이내	150 만원 이내

[0293] 표 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층을 용액 공정(스프레이 코팅)을 이용하여 형성함으로써, 카드뮴 텔루라이드(CdTe)를 포함하는 포토컨덕터층 형성시 보다 단시간, 저온 및 무진공 공정조건으로 인해 재료비를 절감할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

[0294] 도 8은 실시예 1에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층의 엑스선 회절(XRD) 분석 그래프이다.

[0295] 도 8을 참조하면, $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 물질과 관련된 피크인 (111) 및 (222) 피크가 관찰된 것을 통해, 포토컨덕터층이 $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 구조의 물질로 잘 형성됨을 확인할 수 있다.

[0296] 실시예 1에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층을 구비한 엑스선 검출기의 단면을 관찰하기 위해, 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였다.

[0297] 도 9는 실시예 1에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층의 주사전자현미경(SEM) 이미지이다.

[0298] 도 9를 참조하면, $A_2A'_{n-1}M_nX_{3n+1}$의 구조를 갖는 실시예 1 에서 제조된 $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 포토컨덕터층이 TiO_2/FTO 기판 상에 약 100 ㎛의 두께로 잘 형성된 것을 확인할 수 있다.

[0299] 이를 통해, 전자-정공 쌍의 생성에너지가 작고 트랩 밀도가 낮은 페로브스카이트 물질의 특성으로 낮은 전압 및 선량에서도 전하의 수집이 원활하게 이루어지기 때문에 고해상도의 이미지를 구현할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0300] 실시예 1 및 비교예 1에 의해 제조된 엑스선 검출기에 엑스선(장비명: ORTHOCEPH - OC-100, 회사: Instrumentarium Imaging Dental, 관전압: 77 kVp, 관전류: 12 mA)을 조사하여 생성되는 전류 밀도를 기록하여 하기 표 3에 나타내었다.

표 3

[0301]

	실시예 1	비교예 1
엑스선 on 상태의 전류 밀도 (A/cm^2)	$0.36*10^{-6}$	$0.047*10^{-6}$
엑스선 off 상태 의 전류 밀도 (A/cm^2)	$0.15*10^{-6}$	$0.032*10^{-6}$

[0303] 표 3을 참조하면, 실시예 1 내지 3에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층을 구비한 엑스선 검출기는 비교예 1의 CdTe을 포함하는 포토컨덕터층을 구비한 엑스선 검출기 보다 동일한 엑스선 조사시 전

류 밀도가 약 10배 더 크게 향상된 것을 확인할 수 있다.

[0304] 도 10a 및 도 10b는 실시예 1 및 비교예 1에서 각각 제조된 $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 페로브스카이트 화합물 및 CdTe를 포함하는 포토컨덕터층을 구비한 엑스선 검출기의 엑스선 반응도를 나타낸 그래프이다.

[0305] 구체적으로, 실시예 1에서 제조된 $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층을 구비한 엑스선 검출기 및 비교예 1에서 제조된 CdTe을 포함하는 포토컨덕터층을 구비한 엑스선 검출기에 인가하는 전압을 -2 V로 고정하고 엑스선을 2초(s) 조사하여 엑스선 반응도를 관찰하였다.

[0306] 도 10a를 참조하여 엑스선 조사 시간에 따른 전류 밀도 변화를 살펴보면, 실시예 1($(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 페로브스카이트 화합물)의 엑스선 검출기의 경우, 엑스선을 조사(on)시의 전류의 상승시간(rising time)이 매우 빠르고, 엑스선 오프(off)시 빠르게 암전류 상태로 돌아가는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해, $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터층의 트랩 밀도가 낮아 잔상(image lag)이 없는 고해상도의 이미지를 구현할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0307] 반면, 비교예 1(CdTe)의 엑스선 검출기의 경우, 동일한 조건의 엑스선 조사에도 실시예 1($(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 페로브스카이트 화합물)에 비해 전류가 급격히 낮게 흐르는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 실시예 1의 $(BA)_2(MA)_2Pb_3I_{10}$ 페로브스카이트 화합물에 비해 전자와 정공의 발생이 현저히 낮거나 트랩밀도가 높아 픽셀 쪽으로 전자 또는 정공이 이동하는데 어려움이 있어, 전류가 낮게 형성될 수 있다.

[0308] 또한, 도 10b를 참조하면, 실시예 1 및 비교예 1의 엑스선 검출기의 전류 상승시간 및 감쇠시간을 확인할 수 있다.

[0309] 도 10b에 도시된 바와 같이, 비교예 1의 경우 실시예 1에 비해 전류 상승시간이 매우 느리며, 엑스선 오프시에도 암전류 상태로 돌아가는데 오랜 시간이 필요함을 확인할 수 있다. 이를 통해, 비교예 1의 CdTe 포토컨덕터층의 트랩 밀도는 높으며, 동영상 이미지 센서로 사용하는데 어려움이 있음을 확인할 수 있다.

[0311] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

[0312] 100, 200a-200f, 430: 엑스선 검출기

110, 210: 기판

120, 220: 제1 전극(픽셀 전극)

130, 230: 포토컨덕터층

140, 240: 제2 전극(공통 전극)

250: 전자 전달층

260: 정공 전달층

300: 엑스선 시스템

310: 엑스선 발생기

311: 엑스선

320: 구동부

330: 데이터 처리부

340: 영상 신호 출력부

350: 디스플레이 장치

360: 환자

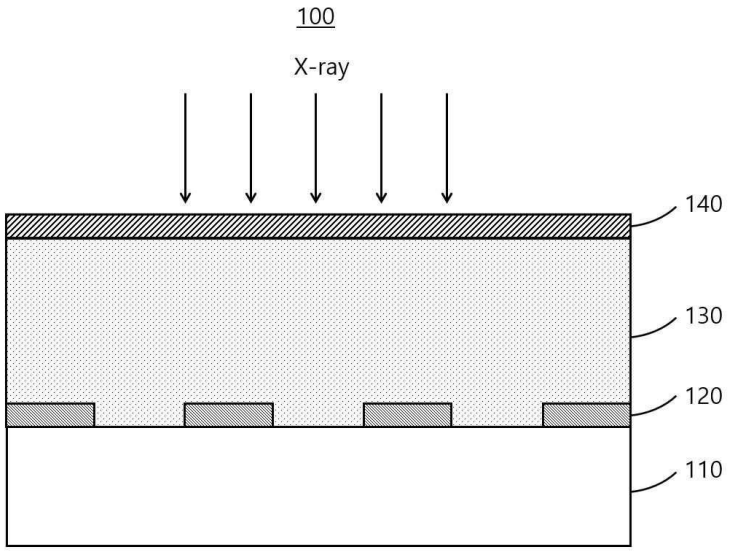
361: 피검사 부위

410: 피검체

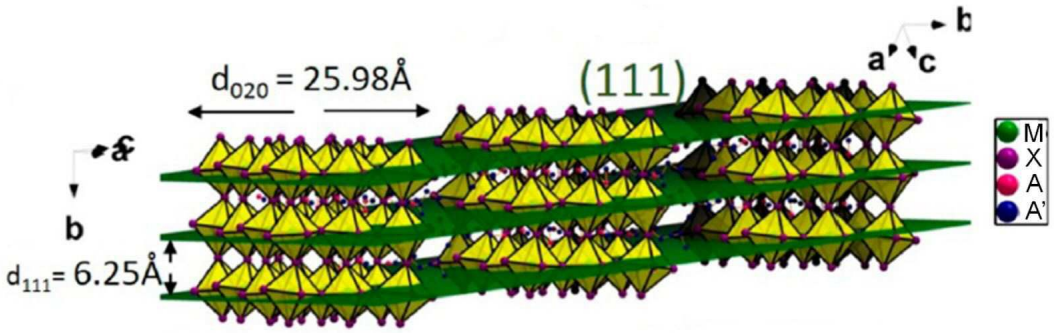
420: 엑스선 발생기

도면

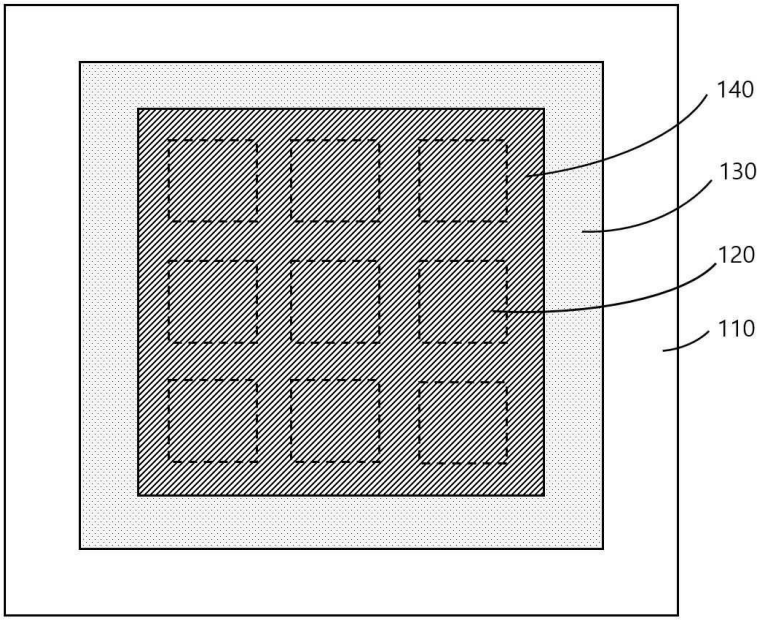
도면1



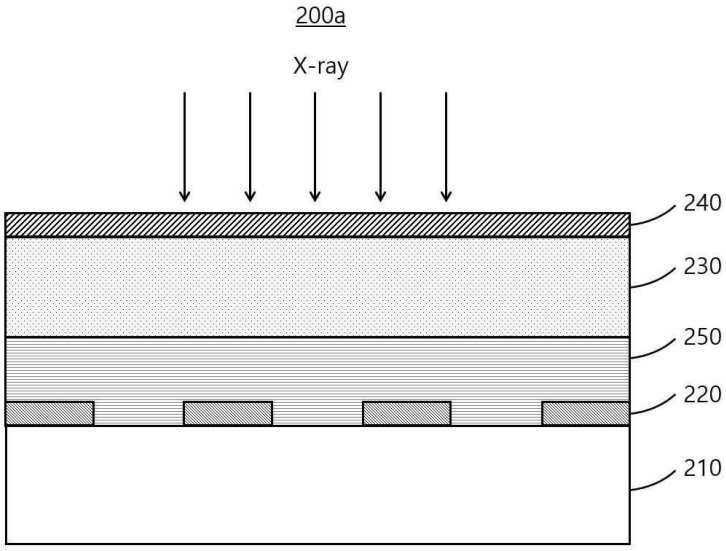
도면2



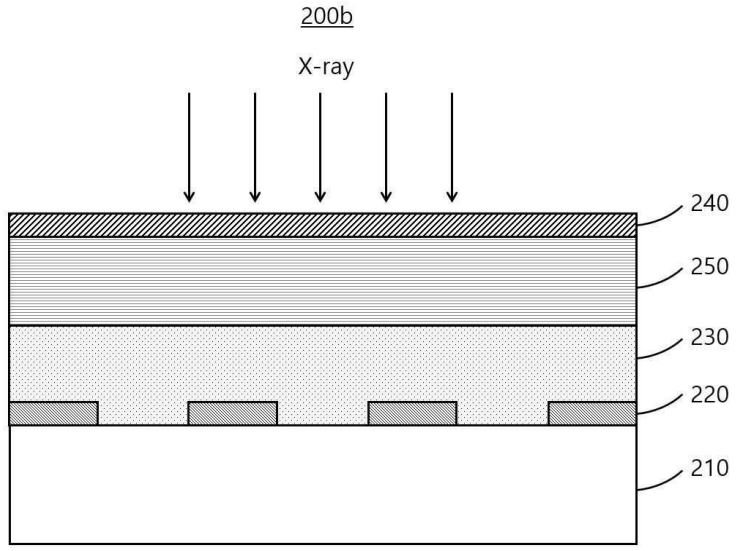
도면3



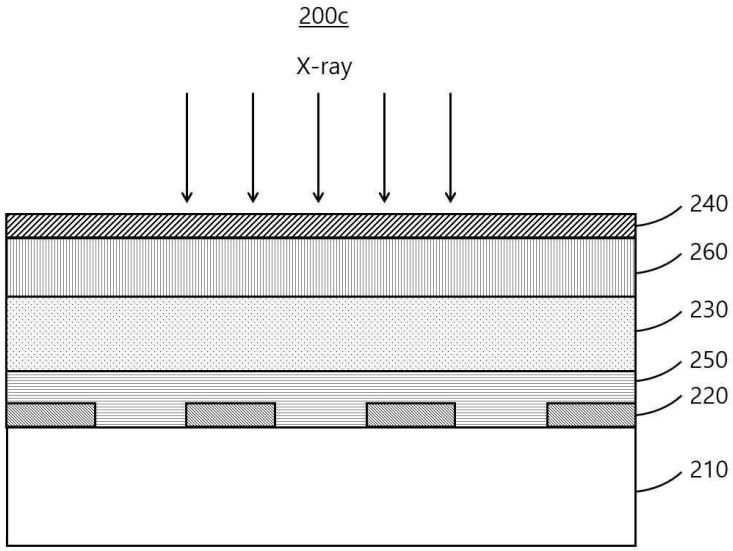
도면4a



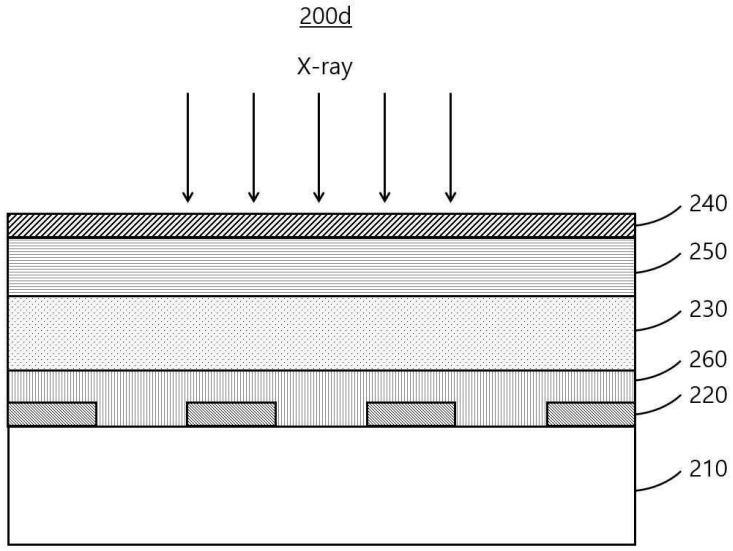
도면4b



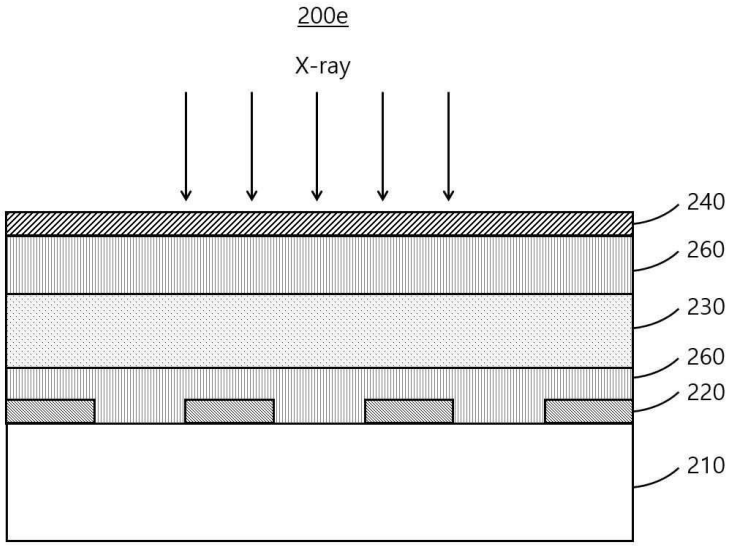
도면4c



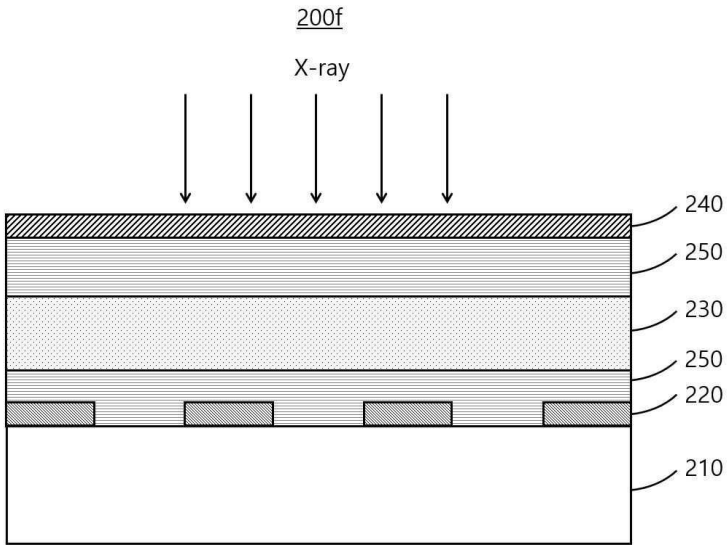
도면4d


200d
X-ray
240
250
230
260
220
210

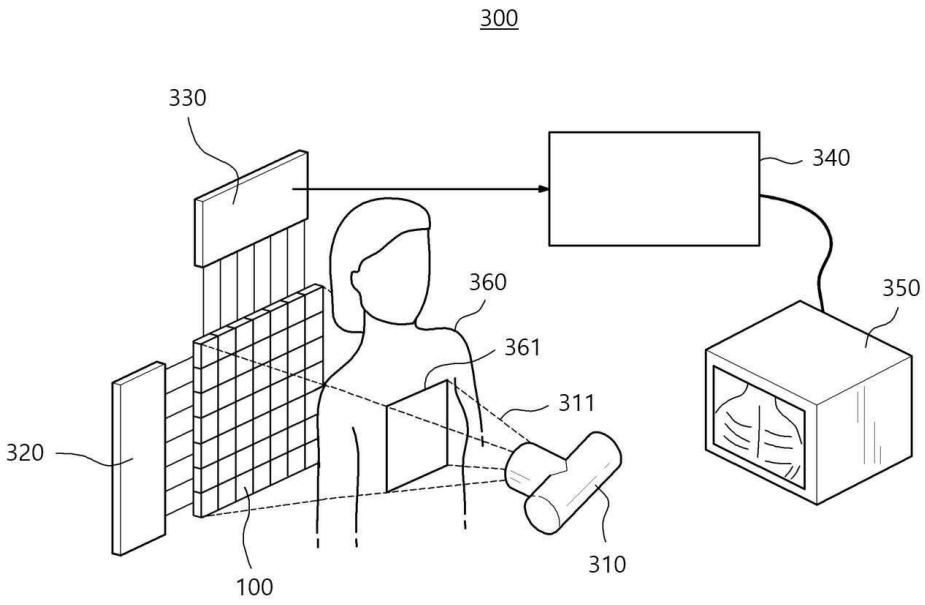
도면4e


200e
X-ray
240
260
230
260
220
210

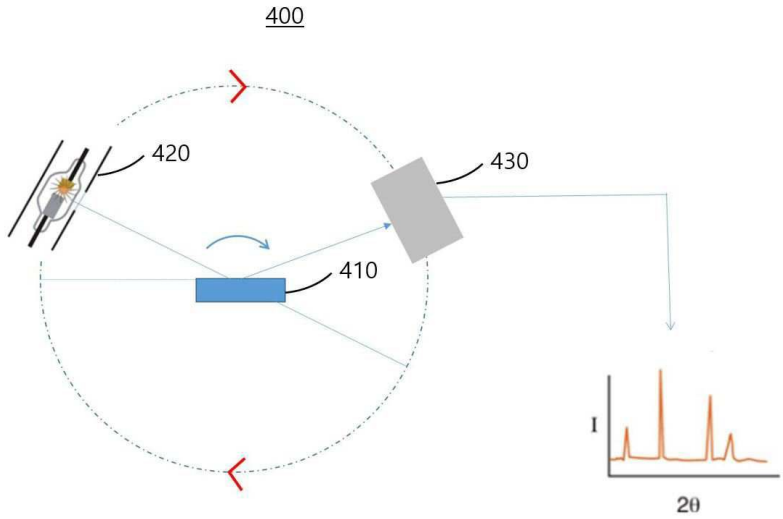
도면4f


200f
X-ray
240
250
230
250
220
210

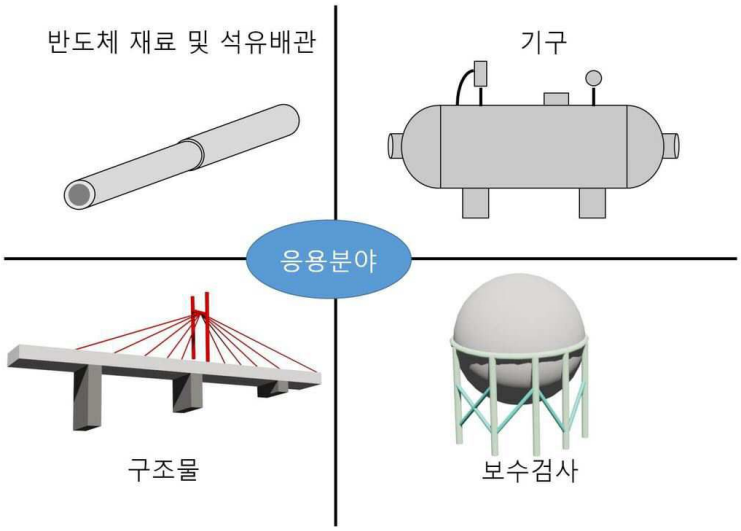
도면5


300
330
340
360
350
361
311
320
310
100

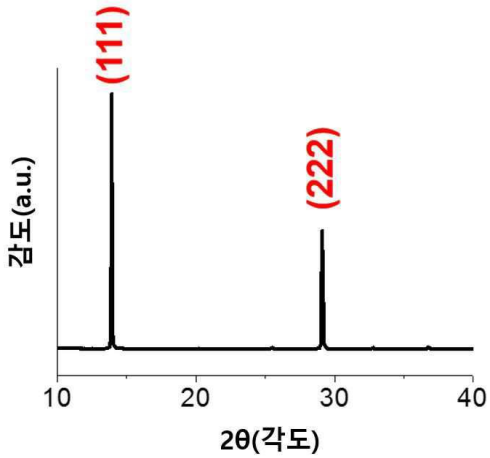
도면6


400
420
430
410
I
2θ

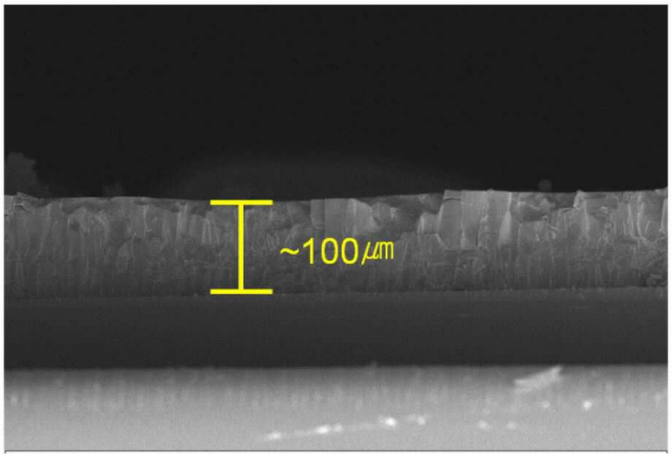
도면7


반도체 재료 및 석유배관
기구
응용분야
구조물
보수검사

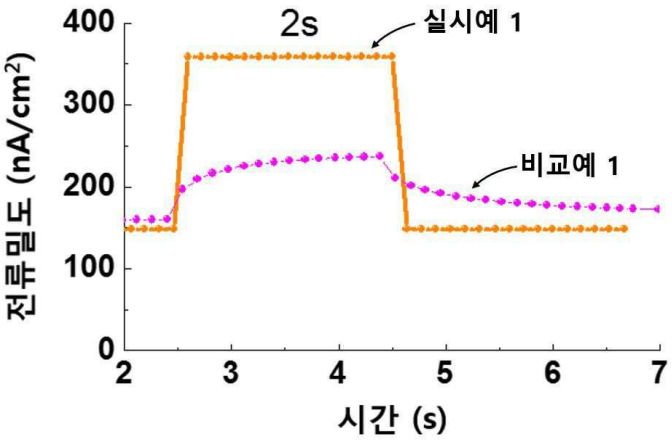
도면8


(111)
(222)
감도(a.u.)
10
20
30
40
2θ(각도)

도면9



도면10a



도면10b

