



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0024947
(43) 공개일자 2018년03월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 6/00 (2006.01) C07F 7/24 (2006.01)
G01T 1/161 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 6/4216 (2013.01)
C07F 7/24 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0112032
(22) 출원일자 2016년08월31일
심사청구일자 2016년08월31일

(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 32 항

(54) 발명의 명칭 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터를 구비한 엑스선 검출기

(57) 요약

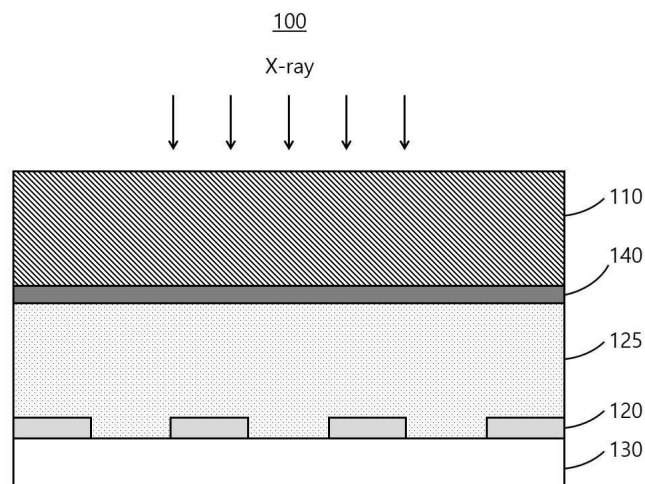
본 발명은 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터를 구비한 엑스선 검출기를 개시한다. 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 입사된 엑스선(X-ray)을 가시광선으로 변환하는 신틸레이터(scintillator); 상기 신틸레이터의 하부에 배치되고, 상기 가시광선을 전기적 신호로 변환하는 광전변환부; 및 상기 광전변환부의 하부에 배치되는 기판을 포함하고, 상기 신틸레이터는 하기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[화학식 1]

AMX₃

(상기 화학식 1에서, A는 1가의 양이온이고, M은 2가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온임.)

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

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

명세서

청구범위

청구항 1

입사된 엑스선(X-ray)을 가시광선으로 변환하는 신틸레이터(scintillator);

상기 신틸레이터의 하부에 배치되고, 상기 가시광선을 전기적 신호로 변환하는 광전변환부; 및

상기 광전변환부의 하부에 배치되는 기관

을 포함하고,

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

[화학식 1]



(상기 화학식 1에서,

A는 1가의 양이온이고,

M은 2가의 금속 양이온이며,

X는 1가의 음이온임.)

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 A는 C₁₋₂₄의 직쇄 또는 측쇄 알킬, 아민기(-NH₃), 수산화기(-OH), 시아노기(-CN), 할로젠기, 니트로기(-NO), 메톡시기(-OCH₃) 또는 이미다졸리움기가 치환된 C₁₋₂₄의 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 3

제1항에 있어서,

상기 M은 Pb²⁺, Sn²⁺, Ge²⁺, Cu²⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Ti²⁺, Zr²⁺, Hf²⁺ 및 Rf²⁺로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 X는 F⁻, Cl⁻, Br⁻, I⁻, SCN⁻ 및 BF₄⁻으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 페로브스카이트 화합물은 나노결정입자인 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 나노결정입자의 입자 크기는 1 nm 내지 900 nm 범위인 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 7

제1항에 있어서,

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

청구항 8

제7항에 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 9

제7항에 있어서,

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

청구항 10

제1항에 있어서,

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

청구항 11

제10항에 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 12

제10항에 있어서,

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

청구항 13

제10항에 있어서,

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

청구항 14

제1항에 있어서,

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

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 광전변환부는 실리콘 포토다이오드를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 16

제1항에 있어서,

상기 광전변환부는 상기 기관 상에 형성된 제1 전극, 상기 제1 전극 상에 형성된 페로브스카이트 광흡수층 및 상기 페로브스카이트 광흡수층 상에 형성된 제2 전극을 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 17

제16항에 있어서,

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

[화학식 1]



(상기 화학식 1에서, A는 1가의 양이온이고, M은 2가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온임.)

청구항 18

제16항에 있어서,

상기 페로브스카이트 광흡수층은 하기 화학식 2으로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

[화학식 2]



(상기 화학식 2에서, A는 1가의 양이온이고, M은 3가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온임.)

청구항 19

제16항에 있어서,

상기 페로브스카이트 광흡수층은 하기 화학식 3으로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

[화학식 3]



(상기 화학식 3에서, A는 1가의 양이온이고, M은 3가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온임.)

청구항 20

제16항에 있어서,

상기 페로브스카이트 광흡수층은 하기 화학식 4로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

[화학식 4]



(상기 화학식 4에서, A는 1가의 양이온이고, M은 3가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온임.)

청구항 21

제16항에 있어서,

상기 페로브스카이트 광흡수층은 하기 화학식 5로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 것을 특징으로

하는 엑스선 검출기.

[화학식 5]



(상기 화학식 5에서, A는 1가의 양이온이고, A'는 1가의 양이온이며, M은 1가, 2가, 3가 또는 4가의 금속 양이온이고, X는 1가 음이온이며, n은 적어도 1이상임.)

청구항 22

제16항에 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 폴리에틸렌디옥시테오펜:폴리스티렌설포네이트(PEDOT:PSS)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 23

제16항에 있어서,

상기 제2 전극은 인듐주석산화물(ITO), 알루미늄아연산화물(AZO), 불소산화주석(FTO), 탄소나노튜브(CNT) 및 그래핀(graphene)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 검출기.

청구항 24

제16항에 있어서,

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

청구항 25

제24항에 있어서,

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

청구항 26

제16항에 있어서,

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

청구항 27

제26항에 있어서,

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

청구항 28

제1항에 있어서,

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

청구항 29

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 30

엑스선을 발생시키는 엑스선 발생기;
상기 엑스선을 검출하는 제1항 내지 제29항 중 어느 한 항에 따른 엑스선 검출기;
상기 엑스선 검출기를 구동시키는 구동부; 및
엑스선 검출 전압을 처리하는 데이터 처리부를 포함하는 엑스선 시스템.

청구항 31

제30항에 있어서,
상기 엑스선 시스템은 엑스선 회절 분석 장치(XRD)인 것을 특징으로 하는 엑스선 시스템.

청구항 32

제30항에 있어서,
상기 엑스선 시스템은 비파괴 검사 장치인 것을 특징으로 하는 엑스선 시스템.

발명의 설명

기술 분야

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

배경 기술

[0002] 오늘날 방사선 투과 성질을 이용하여 환자의 신체부위나 물체를 투시 촬영하는 방사선 촬영장치가 널리 활용되고 있다.

[0003] 특히, 의학 영상장비로 널리 알려진 엑스선 촬영장치는 엑스선이 물체를 통과하는 동안 물체의 성질과 거리에 따라 감쇄하는 특성을 이용하여 영상을 얻는 장치로서, 신체 내부 진단을 위한 의료분야에서의 활용은 물론 물체의 내부 결함을 밝혀내기 위한 비파괴 검사 분야 등에서 적극 활용되고 있다.

[0004] 최근 디지털 산업이 발전함에 따라 엑스선 촬영장치에서도 디지털 엑스선 검출기를 이용하여 영상을 획득하는 디지털 방식이 기존의 필름 방식을 대체하고 있다.

[0005] 디지털 엑스선 검출기는 엑스선으로 촬영한 엑스선 화상 또는 엑스선 투시 화상을 디지털 신호로 출력한다. 이러한 엑스선 검출기는 크게 직접방식(직접변환방식) 및 간접방식(간접변환방식)으로 구분될 수 있다.

[0006] 직접방식의 엑스선 검출기는 입사된 엑스선을 가시광선으로의 전환 없이 엑스선 조사에 의해 바로 전하(전자-정공 쌍)를 발생시키는 포토컨덕터(photoconductor, 광전도체) 및 상기 포토컨덕터로부터 전하를 전달받아 전기적인 신호로 읽기 위한 복수의 픽셀전극을 포함하여 구성된다.

[0007] 반면, 간접방식의 엑스선 검출기는 엑스선을 흡수하여 가시광선을 발생시키는 신틸레이터(scintillator, 섬광체) 및 상기 신틸레이터에 의해 발생한 가시광선을 전기적인 신호로 읽기 위한 광전변환소자를 포함하여 구성된다. 즉, 간접방식은 신틸레이터에서 엑스선을 가시광선으로 변환 후, 변환된 가시광선을 포토다이오드와 같은 광전변환소자를 통해 전하로 변환하는 방식이다.

[0008] 직접방식의 엑스선 검출기의 신틸레이터 물질의 종류는 크게 고체, 액체 및 기체 신틸레이터로 분류되고, 고체 신틸레이터는 유기 및 무기 신틸레이터로 나누어진다. 유기 신틸레이터의 경우, 엑스선 변환 효율이 낮은 반면 반응속도가 빠른 장점이 있다. 이에 반해 무기 신틸레이터는 광출력이 높고 선형성이 좋은 장점이 있으나 반응속도가 느린 단점이 존재한다.

[0009] 한편, 현재 상용화된 엑스선 검출기에 사용되는 대표적인 신틸레이터 물질은 CsI(Tl) 및 Gd₂O₂S:Tb(Gadox)이다. CsI(Tl) 물질은 엑스선에 대한 광발생이 높고 도핑된 Tl 성분에 의해 방출되는 가시광선의 파장이 550 nm이기 때문에 결합하는 광센서의 양자검출효율이 뛰어난 장점이 있다. 그러나 CsI(Tl) 물질은 결정상태로 존재하기

때문에 구부릴 시에 결정이 깨져 효율이 급격히 떨어지고, 열 증착 장비를 사용하여 제조하기 때문에 가격이 비싼 단점이 있다.

[0010] 또한, $Gd_2O_3:S:Tb$ (Gadox) 물질은 높은 원자번호와 밀도에 의해 엑스선 발광효율이 높고 결합제 및 분산제 등의 혼합을 통해 제조하기 때문에 제조 공정이 간단하며 가격이 저렴하다. 그러나 $Gd_2O_3:S:Tb$ (Gadox) 물질은 분말입자에 의한 빛의 산란으로 공간분해능이 CsI(Tl) 물질보다 현저히 낮다.

[0011] 따라서 직접방식의 엑스선 검출기는 신틸레이터에 의한 광의 산란으로 영상의 퍼짐 및 흐려짐 없이 높은 해상도 및 공간분해능을 유지할 것이 요구되며, 사용하고자 하는 응용분야에 맞는 엑스선 에너지 및 공간분해능을 충족하는 신틸레이터의 두께 최적화가 요구된다.

[0012] 또한, 일반적으로 신틸레이터는 두께가 두꺼워질수록 엑스선 흡수에 의한 광발생이 증가하지만, 그만큼 광의 산란으로 인해 공간분해능이 급격히 저하되는 현상이 발생한다. 따라서 공간분해능의 손실 없이 광량을 증가시키기 위한 신틸레이터의 연구 및 개발이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 제10-2016-0077167호, "방사선 검출기, 신틸레이터 패널, 및 그것들의 제조 방법"

(특허문헌 0002) 한국공개특허공보 제10-2014-0033950호, "신틸레이터, 그 제조 방법 및 신틸레이터를 포함하는 엑스레이 검출장치"

(특허문헌 0003) 한국공개특허공보 제10-2011-0005939호 "신틸레이터 및 엑스레이 디텍터의 제조 방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

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

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

과제의 해결 수단

[0016] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 입사된 엑스선(X-ray)을 가시광선으로 변환하는 신틸레이터(scintillator); 상기 신틸레이터의 하부에 배치되고, 상기 가시광선을 전기적 신호로 변환하는 광전변환부; 및 상기 광전변환부의 하부에 배치되는 기판을 포함하고, 상기 신틸레이터는 하기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0017] [화학식 1]

[0018] AMX_3

[0019] (상기 화학식 1에서, A는 1가의 양이온이고, M은 2가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온임.)

[0020] 상기 A는 C_{1-24} 의 직쇄 또는 측쇄 알킬, 아민기($-NH_2$), 수산화기($-OH$), 시아노기($-CN$), 할로젠기, 니트로기($-NO_2$), 메톡시기($-OCH_3$) 또는 이미다졸리움기가 치환된 C_{1-24} 의 직쇄 또는 측쇄 알킬, Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Fr^+ , $Cu(I)^+$, $Ag(I)^+$ 및 $Au(I)^+$ 로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0021] 상기 M은 Pb^{2+} , Sn^{2+} , Ge^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Ti^{2+} , Zr^{2+} , Hf^{2+} 및 Rf^{2+} 로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

- [0022] 상기 X는 F^- , Cl^- , Br^- , I^- , SCN^- 및 BF_4^- 으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 페로브스카이트 화합물은 나노결정입자(nanocrystal particle)일 수 있다.
- [0024] 상기 나노결정입자의 입자 크기는 1 nm 내지 900 nm 범위일 수 있다.
- [0025] 상기 신틸레이터는 유기 바인더를 더 포함할 수 있다.
- [0026] 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.
- [0027] 상기 신틸레이터에는 상기 페로브스카이트 화합물 및 상기 유기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함될 수 있다.
- [0028] 상기 신틸레이터는 무기 바인더를 더 포함할 수 있다.
- [0029] 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.
- [0030] 상기 신틸레이터에는 상기 페로브스카이트 화합물 및 상기 무기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함될 수 있다.
- [0031] 상기 무기 바인더의 입자 크기는 1 nm 내지 100 nm 범위일 수 있다.
- [0032] 상기 신틸레이터의 두께는 1 μm 내지 1,000 μm 범위일 수 있다.
- [0033] 상기 광전변환부는 실리콘 포토다이오드를 포함할 수 있다.
- [0034] 상기 광전변환부는 상기 기판 상에 형성된 제1 전극, 상기 제1 전극 상에 형성된 페로브스카이트 광흡수층 및 상기 페로브스카이트 광흡수층 상에 형성된 제2 전극을 포함할 수 있다.
- [0035] 상기 페로브스카이트 광흡수층은 하기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0036] [화학식 1]
- [0037] AMX_3
- [0038] (상기 화학식 1에서, A는 1가의 양이온이고, M은 2가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온임.)
- [0039] 상기 페로브스카이트 광흡수층은 하기 화학식 2으로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0040] [화학식 2]
- [0041] $A_3M_2X_9$
- [0042] (상기 화학식 2에서, A는 1가의 양이온이고, M은 3가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온임.)
- [0043] 상기 페로브스카이트 광흡수층은 하기 화학식 3으로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0044] [화학식 3]
- [0045] A_3MX_6
- [0046] (상기 화학식 3에서, A는 1가의 양이온이고, M은 3가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온임.)
- [0047] 상기 페로브스카이트 광흡수층은 하기 화학식 4로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0048] [화학식 4]
- [0049] AM_2X_7
- [0050] (상기 화학식 4에서, A는 1가의 양이온이고, M은 3가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온임.)

- [0051] 상기 페로브스카이트 광흡수층은 하기 화학식 5로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0052] [화학식 5]
- [0053] $A_2A'_{n-1}M_nX_{3n+1}$
- [0054] (상기 화학식 5에서, A는 1가의 양이온이고, A'는 1가의 양이온이며, M은 1가, 2가, 3가 또는 4가의 금속 양이온이고, X는 1가 음이온이며, n은 적어도 1이상임.)
- [0055] 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 폴리에틸렌디옥시테오펜:폴리스티렌설포네이트(PEDOT:PSS)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0056] 상기 제2 전극은 인듐주석산화물(ITO), 알루미늄아연산화물(AZO), 불소산화주석(FTO), 탄소나노튜브(CNT) 및 그래핀(graphene)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0057] 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극 사이에 전자 전달층을 더 포함할 수 있다.
- [0058] 상기 전자 전달층은 금속 산화물을 포함할 수 있다.
- [0059] 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극 사이에 정공 전달층을 더 포함할 수 있다.
- [0060] 상기 정공 전달층은 티오펜계, 파라페닐렌비닐렌계, 카바졸계 및 트리페닐아민계로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0061] 상기 기판은 상보형금속산화반도체(CMOS), 전하결합소자(CCD) 또는 박막트랜지스터(TFT)를 포함하는 어레이 기판일 수 있다.
- [0062] 상기 기판은 유리(glass), 석영(quartz), 실리콘(silicon) 및 플라스틱(plastic)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0063] 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.
- [0064] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 시스템은 회절 분석 장치(XRD)일 수 있다.
- [0065] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 시스템은 비파괴 검사 장치일 수 있다.

발명의 효과

- [0066] 본 발명의 실시예에 따르면, 신틸레이터의 물질로서 페로브스카이트 화합물을 이용하기 때문에 엑스선 검출기의 제조공정이 단순하면서도 제조비용을 절감할 수 있다.
- [0067] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 신틸레이터는 유기물의 장점과 무기물의 장점을 모두 가질 수 있어 후막(thick film) 제조가 용이하고 재현성이 높으며 내구성이 우수하다.
- [0068] 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.
- [0069] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 페로브스카이트 화합물과 접착력이 우수한 무기 바인더를 혼합하여 사용함으로써 기판과의 접착력을 향상시킬 수 있다.
- [0070] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터를 구비한 간접방식의 엑스선 검출기를 구현하여, 고해상도의 엑스선 이미지 및 동영상의 구현이 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0071] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.
- 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신틸레이터의 단면도를 도시한 것이다.
- 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

도 4는 본 발명의 일 측에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이에 형성된 전자 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

도 5는 본 발명의 일 측에 따른 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 전자 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

도 6은 본 발명의 일 측에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이에 형성된 정공 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

도 7은 본 발명의 일 측에 따른 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 정공 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

도 8은 본 발명의 일 측에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이에 형성된 전자 전달층과, 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 정공 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

도 9는 본 발명의 일 측에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이에 형성된 정공 전달층과, 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 전자 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

도 10은 본 발명의 일 측에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이와, 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 정공 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

도 11은 본 발명의 일 측에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이와, 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 전자 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함하는 엑스선 시스템을 나타낸 것이다.

도 13은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 엑스선 회절(XRD) 분석 장치를 도시한 이미지이다.

도 14는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 비파괴 검사 장치의 응용 분야를 도시한 이미지이다.

도 15는 실시예 1에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터의 엑스선 회절(XRD) 분석 그래프이다.

도 16은 실시예 1에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터의 투과전자현미경(TEM) 이미지이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0072] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0073] 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.

[0074] 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.

[0075] 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.

[0076] 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.

[0077] 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.

- [0078] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 설명하기로 한다.
- [0080] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.
- [0081] 도 1을 참조하면, 엑스선 검출기(100)는 신틸레이터(110), 광전변환부(120) 및 기판(130)을 포함한다.
- [0082] 신틸레이터(110)는 외부로부터 입사된 엑스선(X-ray)을 가시광선으로 변환한다.
- [0083] 신틸레이터(110)는 엑스선이 조사되면 여기되었던 전자와 정공이 만나 중성의 쌍을 이뤄 하나의 입자처럼 움직이게 되는 엑시톤을 생성하여 빛을 발생(발광)시킨다. 이로 인해, 신틸레이터(110)는 외부의 인가 전압 없이도 사용이 가능하다. 즉, 신틸레이터(110)는 발광의 역할을 한다.
- [0084] 신틸레이터(110)는 페로브스카이트 화합물을 포함한다. 구체적으로, 신틸레이터(110)는 외부로부터 입사된 엑스선을 흡수하여 가시광선으로 변환할 수 있는 물질로서, 페로브스카이트 구조(perovskite structure)를 갖는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0085] 신틸레이터(110)는 하기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0086] [화학식 1]
- [0087] AMX_3
- [0088] 상기 화학식 1에서, A는 1가의 양이온이고, M은 2가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온이다.
- [0089] 상기 A는 1가의 유기 양이온, 1가의 무기 양이온 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0090] 구체적으로, 페로브스카이트 화합물은 상기 화학식 1 중 A의 종류에 따라, 유기 하이브리드 페로브스카이트 화합물(organic/inorganic hybrid perovskite compound) 또는 무기금속할라이드 페로브스카이트 화합물(inorganic metal halide perovskite compound)일 수 있다.
- [0091] 보다 구체적으로, 상기 화학식 1에서 A가 1가의 유기 양이온일 경우, 페로브스카이트 화합물은 유기물인 A와, 무기물인 M 및 X로 구성되어 유기물과 무기물이 복합 구성된 유기 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.
- [0092] 유기 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.
- [0093] 한편, 페로브스카이트 화합물이 무기금속할라이드 페로브스카이트 화합물일 경우, 유기 하이브리드 페로브스카이트 화합물과 같이 후막으로의 제조가 용이하고 재현성이 높다. 또한, 무기금속할라이드의 페로브스카이트 화합물의 경우, 유기물을 사용하지 않기 때문에 유기 하이브리드 페로브스카이트에 비해 내구성 및 안정성이 더 높다는 장점이 있다.
- [0094] 상기 1가의 유기 양이온은 C_{1-24} 의 직쇄 또는 측쇄 알킬, 아민기($-NH_2$), 수산화기($-OH$), 시아노기($-CN$), 할로젠기, 니트로기($-NO_2$), 메톡시기($-OCH_3$) 또는 이미다졸리움이 치환된 C_{1-24} 의 직쇄 또는 측쇄 알킬 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0095] 상기 1가의 무기 양이온은 Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Fr^+ , $Cu(I)^+$, $Ag(I)^+$, $Au(I)^+$ 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0096] 상기 M은 Pb^{2+} , Sn^{2+} , Ge^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Ti^{2+} , Zr^{2+} , Hf^{2+} , Rf^{2+} 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0097] 상기 X는 F^- , Cl^- , Br^- , I^- , SCN^- , BF_4^- 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0098] 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물은 유기물과 무기물이 혼합 구성된 AMX_3 화학구조를 가질 수 있다. 예를 들어, A는 메틸암모늄(MA, methylammonium)이고, M은 Pb이며, X는 I일 경우, 페로브스카이트 화합물은 $MAPbI_3$ 의 화학구조를 가질 수 있다.

- [0099] 또한, X가 I 이외에, Br 또는 Cl과 조합될 경우, 페로브스카이트 화합물은 $\text{MAPb}(\text{I}_{1-x}\text{Br}_x)_3$ 또는 $\text{MAPb}(\text{I}_{1-x}\text{Cl}_x)_3$ 의 화학구조를 가질 수 있다. 여기서, MA는 메틸암모늄(methylammonium)이고, x는 $0 < x < 1$ 이다.
- [0100] 페로브스카이트 화합물은 복수 개의 나노결정입자(nanocrystal particle)(이하, '페로브스카이트 나노결정입자'라고 함) 형태로 신틸레이터(110)에 포함될 수 있다.
- [0101] 페로브스카이트 나노결정입자는 신틸레이터(110)에서 발광체로 사용된다.
- [0102] 페로브스카이트 화합물의 입자 크기, 즉, 페로브스카이트 나노결정입자의 크기는 1 nm 내지 900 nm 범위일 수 있고, 바람직하게는 1 nm 내지 500 nm 범위일 수 있다.
- [0103] 페로브스카이트 나노결정입자의 크기가 1 nm 미만일 경우, 입자 크기에 의해 밴드갭(band gap)이 변하게 되고, 입자 크기의 분포를 조절하기 어려우며, 미세한 조절을 요구하기 때문에 대량생산에 불리하다는 문제가 있다.
- [0104] 페로브스카이트 나노결정입자의 크기가 900 nm를 초과할 경우, 상온에서의 열적 이온화 및 전하 운반체의 비편 재화에 의해서 효율이 감소되는 문제가 있다. 또한, 코팅 공정이 힘들어져 제조가 어려우며, 플렉서블 엑스선 검출기에 적용이 불가능하다.
- [0105] 페로브스카이트 나노결정입자는 페로브스카이트 나노결정입자 표면 상에 페로브스카이트 나노결정입자의 표면을 둘러싸도록 형성된 유기 리간드를 더 포함할 수 있다.
- [0106] 상기 유기 리간드는 알킬 할라이드(alkyl halide)를 포함할 수 있고, 상기 알킬 할라이드는 알킬(alkyl)-G의 구조일 수 있다. 여기서, G에 해당하는 할로젠(Halogen) 원소는 F, Cl, Br 또는 I를 포함할 수 있다.
- [0107] 또한, 알킬(alkyl) 구조는 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ 의 구조를 가지는 비고리형 알킬(acyclic alkyl), $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$ 와 같은 구조를 가지는 일차 알코올(primary alcohol), 이차 알코올(secondary alcohol), 삼차 알코올(tertiary alcohol), 알킬-N의 구조를 가지는 알킬아민(alkylamine)(ex. hexadecyl amine, 9-octadecenylamine, 1-amino-9-octadecene($\text{C}_{19}\text{H}_{37}\text{N}$)), p-치환된 아닐린(p-substituted aniline), 페닐 암모늄(phenyl ammonium) 또는 플루오린 암모늄(fluorine ammonium)을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0108] 또한, 페로브스카이트 나노결정입자는 코어-셸(core-shell) 구조를 가질 수 있다.
- [0109] 코어-셸 구조의 페로브스카이트 나노결정입자는 제1 페로브스카이트 나노결정입자 코어 및 제1 페로브스카이트 나노결정입자 코어를 감싸며 제2 페로브스카이트 나노결정입자를 포함하는 셸을 포함할 수 있다. 여기서, 제1 페로브스카이트 나노결정입자 및 제2 페로브스카이트 나노결정입자는 서로 상이한 물질이 사용될 수 있다.
- [0110] 코어-셸 구조의 유기 하이브리드 페로브스카이트 나노결정입자 또는 코어-셸 구조의 무기금속할라이드 페로브스카이트 나노결정입자는 코어보다 밴드갭이 큰 물질로 셸을 형성함으로써 엑시톤이 코어에 더욱 잘 구속되도록 할 수 있다.
- [0111] 또한, 셸을 공기 중에 안정한 제2 페로브스카이트 나노결정입자, 무기 반도체 혹은 유기 고분자를 사용하여 제1 페로브스카이트 나노결정입자 코어가 공기중에 노출되지 않도록 하여 나노결정의 내구성을 향상시킬 수 있다. 즉, 코어를 둘러싸고 있는 셸로 인하여 자연스럽게 장벽이 형성되어 코어의 암전류를 낮출 수가 있다.
- [0112] 이와 같이, 셸은 제2 페로브스카이트 나노결정입자 아닌 무기물 반도체, 유기물 고분자 물질 또는 유기 저분자 물질을 포함할 수 있다.
- [0113] 무기물 반도체 물질은 TiO_x (x는 1 내지 3의 실수임), 산화인듐(In_2O_3), 산화주석(SnO_2), 산화아연(ZnO), 산화아연주석(Zinc Tin Oxide), 산화갈륨(Ga_2O_3), 산화텅스텐(WO_3), 산화알루미늄, 산화티타늄, 산화바나듐(V_2O_5 , VO_2 , V_4O_7 , V_5O_9 또는 V_2O_3), 산화몰리브덴(MoO_3 또는 MoO_x), 산화철, 산화크롬, 산화비스무스, IGZO(indium-Gallium Zinc Oxide), 산화지르코늄(ZrO_2), 산화니켈(NiO), 산화구리(Copper(II) Oxide: CuO), 산화구리알루미늄(Copper Aluminium Oxide: CAO, CuAlO_2), 산화아연로듐(Zinc Rhodium Oxide: ZRO, ZnRh_2O_4) 등의 옥사이드 반도체 및 하이드로젠설파이드(H_2S), 카드뮴설파이드(CdS), 카본다이설파이드(CS_2), 리드설파이드(PbS), 몰리브덴 다이설파이드(MoS_2), 실버설파이드(Ag_2S), 소듐설파이드(Na_2S), 징크설파이드(ZnS), 머큐리설파이드(HgS), 아세닉설파이드(AsS), 폴리베닐렌설파이드($\text{C}_6\text{H}_4\text{S}$), 셀레늄설파이드(SeS_2), 아이론다이설파이드(FeS_2) 또는 이들의 조합일 수 있다.

- [0114] 유기물 고분자 물질은 공액고분자로 폴로플루오렌(polyfluorone), 폴리파라페닐렌(poly(p-phenylene)), 폴리스파이로플루오렌(poly(spirofluorene)) 및 이들의 유도체를 포함할 수 있으며, 비공액고분자로 폴리 메틸 메타크릴레이트 (Poly(methyl methacrylate) (PMMA)), 폴리 바이닐 카바졸(poly (N-vinylcarbazole, PVK)), 폴리에틸렌 글리콜(polyethylene glycol), 폴리에틸렌옥사이드(polyethylene oxide), 폴리바이닐피롤리돈(polyvinylpyrrolidone), 폴리에틸렌이민(polyethyleneimine), 폴리바이닐알코올(PVA) 또는 이들의 조합일 수 있으나, 이에 제한되지 않고, 모든 공액 고분자 또는 비공액 고분자를 포함할 수 있다.
- [0115] 유기물 저분자 물질은 공액물질로 4,4'-비스(N-카르바졸릴)-1,1'-비페닐 (4,4'-bis(N-carbazolyl)-1,1'-biphenyl; CBP), 2,8-비스 (디페닐포스포릴)디벤조[b,d]싸이오펜 (2,8-bis(diphenylphosphoryl)dibenzo[b,d]thiophene; PPT), N,N- 카르바졸릴-3,5-벤젠 (N,N-dicarbazolyl-3,5-benzene; mCP) 또는 이들의 조합일 수 있으나, 이에 제한되지 않고, 모든 공액 저분자 또는 비공액 저분자를 포함할 수 있다.
- [0116] 또한, 셀은 셀 표면을 둘러싸는 복수 개의 유기 리간드들을 더 포함할 수 있다.
- [0117] 유기 리간드는 알킬할라이드를 포함할 수 있다. 알킬할라이드의 알킬 구조는 C_nH_{2n+1} 의 구조를 가지는 비고리형 알킬(acyclic alkyl), 일차알코올(primary alcohol), 이차 알코올(secondary alcohol), 삼차 알코올(tertiary alcohol), 알킬아민 (alkylamine), p-치환된 아닐린(p-substituted aniline), 페닐 암모늄(phenyl ammonium) 또는 플루오린 암모늄(fluorine ammonium)을 포함할 수 있다.
- [0118] 셀의 구조는 일차원적인 구조, 이차원적인 구조 또는 삼차원적인 구조를 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0119] 또한, 셀은 계면활성제를 더 포함할 수 있다. 셀은 계면활성제를 더 포함하여, 나노결정입자의 사이즈(크기) 조절 및 분산성 제어뿐만 아니라, 발광효율 제어할 수 있다. 예를 들어, 계면활성제의 농도 및 양에 따라 나노 결정입자 사이즈를 제어할 수 있다.
- [0120] 계면활성제는 4,4'-아조비스(4-시아노팔레릭 에시드)(4,4'-Azobis(4-cyanovaleric acid)), 아세트 에시드 (Acetic acid), 5-마이노살리실릭 에시드(5-Aminosalicylic acid), 아크리릭 에시드(Acrylic acid), L-아스펜 틱 에시드(L-Aspartic acid), 6-브로헥사노익 에시드(6-Bromohexanoic acid), 프로모아세트 에시드 (Bromoacetic acid), 다이클로로 아세트 에시드(Dichloro acetic acid), 에틸렌디아민테트라아세트 에시드 (Ethylenediaminetetraacetic acid), 이소부티릭 에시드(Isobutyric acid), 이타코닉 에시드(Itaconic acid), 말레익 에시드(Maleic acid), r-말레이미도부틸릭 에시드(r-Maleimidobutyric acid), L-말릭 에시드(L-Malic acid), 4-나이트로벤조익 에시드(4-Nitrobenzoic acid), 1-파이렌카르복실릭 에시드(1-Pyrenecarboxylic acid) 또는 올레익 에시드(oleic acid)와 같이 카르복실산(COOH)을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0121] 신틸레이터(110)는 유기 바인더를 더 포함할 수 있다. 유기 바인더는 페로브스카이트 화합물과 함께 신틸레이 터(110)에 포함되어, 신틸레이터(110)의 가요성(flexibility)을 향상시킬 수 있다.
- [0122] 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, 치 과에서 사용하고 있는 검출기의 경우 사람의 구강 구조에 따라 플렉서블 엑스선 검출기가 필요하다.
- [0123] 플렉서블 엑스선 검출기는 환자의 고통을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라, 다양한 각도(딱딱한 검출기의 경우 구 강에서 촬영하지 못하는 부분도 발생)에서의 촬영이 가능함으로써 고성능의 이미지를 구현할 수 있다.
- [0124] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 신틸레이터(110)에 가용성을 향상시킬 수 있는 유기 바인더를 포함함 으로써, 플렉서블 엑스선 검출기 제조가 용이하다.
- [0125] 유기 바인더는 예를 들어, 폴리비닐 부티랄 수지, 폴리비닐 클로라이드 수지, 아크릴 수지, 페녹시 수지, 폴리 에스테르 수지, 폴리비닐 포르말 수지, 폴리아미드 수지, 폴리스티렌 수지, 폴리카보네이트 수지, 폴리비닐 아 세테이트 수지, 폴리우레탄 수지, 에폭시 수지 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0126] 신틸레이터(110)에는 페로브스카이트 화합물 및 유기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함될 수 있다.
- [0127] 신틸레이터(110)에 전술한 중량비 초과로 너무 많이 포함될 경우, 신틸레이터에서 분해능 및 해상도가 떨어지게 되고, 이로 인해 엑스선 검출기의 성능을 저하시킬 수 있다.

- [0128] 신틸레이터(110)는 무기 바인더(inorganic binder)를 더 포함할 수 있다.
- [0129] 신틸레이터(110)에 무기 바인더를 더 포함할 경우, 신틸레이터(110)의 증착 기관과의 접착성을 향상시킬 수 있다.
- [0130] 구체적으로, 무기 바인더는 페로브스카이트 화합물과 함께 신틸레이터(110)에 포함되어, 신틸레이터(110)의 접착성(adhesion)을 향상시킬 수 있다. 보다 구체적으로, 신틸레이터(110)는 페로브스카이트 화합물과 함께 무기 바인더를 포함함으로써, 페로브스카이트 화합물과 무기 바인더와의 접착력이 향상되어, 증착 기관과의 접착성을 향상시킬 수 있다.
- [0131] 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.
- [0132] 신틸레이터(110)에는 페로브스카이트 화합물 및 무기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함될 수 있다.
- [0133] 무기 바인더가 신틸레이터(110)에 전술한 중량비 초과로 너무 많이 포함될 경우, 분해능 및 해상도가 떨어지게 되고, 이로 인해 엑스선 검출기의 성능을 저하시킬 수 있다.
- [0134] 무기 바인더의 입자 크기는 1 nm 내지 100 nm 범위일 수 있다. 무기 바인더의 입자 크기가 1 nm 미만일 경우, 균일한 입자를 제어하는데 문제가 있고, 100 nm를 초과할 경우, 엑스선의 산란을 크게 만들어 고해상도의 이미지를 구현하는데 어려움이 있다.
- [0135] 신틸레이터(110)는 페로브스카이트 화합물을 용매에 용해시킨 페로브스카이트 화합물 용액을 이용한 용액코팅 방법 또는 증착 방법을 통해 기관(130) 상에 형성될 수 있다.
- [0136] 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.
- [0137] 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.
- [0138] 바람직하게는 신틸레이터(110)를 용액(solution) 공정으로 형성함으로써, 제조공정이 단순하게 하여, 제조비용을 절감할 수 있다.
- [0139] 신틸레이터(110)는 높은 에너지인 엑스선을 흡수하기 위해, 후막(thick film)으로 제조되어야 한다.
- [0140] 신틸레이터(110)는 엑스선 검출기의 응용 분야에 따라 두께가 결정될 수 있다. 엑스선 검출기의 응용분야에 따른 신틸레이터(110)의 두께를 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

응용분야	신틸레이터 두께(μm)	공간분해능(lp/mm)
결정(crystallography)	30~50	10
비파괴검사	70~1,000	5~10
흉부	500	~5
마모	100~150	15~20
덴탈	70~300	7~10
마이크로-CT	50~200	20

- [0143] 신틸레이터(110)가 표 1의 두께 범위를 초과하는 경우, 신틸레이터(110)에서 산란되는 빛이 증가하여 요구되는 공간분해능을 만족시킬 수 없다는 단점이 있다. 또한, 신틸레이터(110)가 표 1의 두께 범위 미만의 값을 가지는 경우, 엑스선의 흡수량이 적어 신호가 노이즈 수준으로 약해지는 단점이 있다.
- [0144] 또한, 신틸레이터(110)는 필름 형태로 형성될 수 있다.

- [0145] 구체적으로, 신틸레이터(110)는 나노결정 구조를 가지는 페로브스카이트 나노결정입자가 층층이 적층된 필름(film, 박막) 형태로 형성될 수 있고, 만약 나노결정입자의 크기가 클 경우, 페로브스카이트 나노결정입자 사이를 바인더 물질로 채울 수 있으며, 만약 나노결정입자의 크기가 작을 경우에는 충전율이 높아 페로브스카이트 나노결정입자 사이를 바인더로 채울 필요가 없다.
- [0147] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신틸레이터의 단면도를 도시한 것이다.
- [0148] 도 2를 참조하면, 신틸레이터(110)는 증착 기판(111), 신틸레이터(110) 및 신틸레이터 보호층(112)을 포함하는 신틸레이터 패널 형태로 포함될 수 있다.
- [0149] 구체적으로, 신틸레이터(110)는 도 1에서와 같이, 부착층(140) 상에 직접 형성되거나, 도 2에서와 같이 별도의 신틸레이터 패널로 형성되어, 부착층(140) 상에 부착될 수 있다.
- [0150] 증착 기판(111)은 폴리에틸렌테레프탈레이트(polyethyleneterephthalate; PET), 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane; PDMS) 및 폴리이미드(polyimide; PI) 등의 플라스틱 기판, 탄소 기판 또는 금속 기판이 사용될 수 있다.
- [0151] 신틸레이터 보호층(112)은 패럴린 코팅(parylene coating), 폴리이미드(polyimide)계 수지, 폴리아미드(polyamide)계 수지, 에폭시(epoxy)계 수지, 파라크실렌(paraxylene)계 수지 및 아크릴(acryl)계 수지 등의 유기절연물질로 형성될 수 있으며, 단층 또는 다층으로 형성될 수 있다. 바람직하게는 패럴린 코팅(parylene coating)이 사용될 수 있다.
- [0152] 신틸레이터 보호층(112)은 신틸레이터(110)가 수분 등과 같은 외부 요인에 의해 손상되는 것을 방지하기 위해 신틸레이터(110)를 둘러싸도록 신틸레이터 보호층(112)이 형성될 수 있다.
- [0153] 이러한 증착 기판(111), 신틸레이터(110) 및 신틸레이터 보호층(112)을 포함하는 신틸레이터 패널은 부착층(140)에 의해 광전변환부(120)에 부착될 수 있다.
- [0155] 다시 도 1을 참조하면, 광전변환부(120)는 신틸레이터(110)의 하부에 배치되고, 광전변환부(120)는 신틸레이터(110)에서 변환된 가시광선을 전기적 신호로 변환한다.
- [0156] 광전변환부(120)는 포토다이오드(Photodiode, PD)(미도시)를 포함할 수 있다. 포토다이오드(PD)는 가시광선을 전기적 신호로 변환할 수 있다. 구체적으로, 광전변환부(120)는 기판(130) 상에 복수 개의 화소 영역마다 각각 형성되는 포토다이오드(PD)를 포함할 수 있고, 포토다이오드(PD)는 신틸레이터(110)에서 엑스선으로부터 변환된 가시광선을 흡수하여 전기적 신호로 변환시킬 수 있다.
- [0157] 광전변환부(120)는 입사되는 가시광선의 세기에 대응하는 전기적 신호를 발생시킬 수 있다. 또한, 광전변환부(120)는 발생된 전기적 신호를 기판(130)에 배치된 박막트랜지스터(TFT)(미도시) 및 커패시터(미도시)에 제공할 수 있다. 즉, 광전변환부(120)에 입사된 가시광선은 광전변환부(120) 내부에서 전자 및 정공으로 구성된 전하로 변환되고, 전자 및 정공은 커패시터(미도시)에 의해 형성된 전기장의 방향을 따라 이동하게 되며, 광전변환부(120)의 내부에는 전류가 흐르게 된다.
- [0158] 광전변환부(120)는 포토다이오드(PD)로서 실리콘 포토다이오드를 포함할 수 있다.
- [0159] 실리콘 포토다이오드는 비결정질 실리콘(amorphous silicon) 또는 (미세)결정질 실리콘((micro)crystalline silicon)으로 구성될 수 있고, 실리콘 포토다이오드가 결정질 실리콘으로 구성되어 있는 경우에는, 광전변환 영역이 비결정질 실리콘으로 구성되어 있는 경우에 비하여, 엑스선 검출기에서 얻어진 화상에 포함되는 잔상을 저감시킬 수 있다.
- [0160] 실리콘 포토다이오드는 P(positive)형 반도체층 및 N(negative)형 반도체층으로 이루어진 PN구조의 PN형 포토다이오드(Positive Negative Photodiode), P형 반도체층, I(intrinsic)형 반도체층 및 N형 반도체층으로 이루어진 PIN 구조의 PIN형 포토다이오드(Positive Intrinsic Negative Photodiode), 쇼트키(schottky)형 포토다이오드 또는 애벌런치(avalanche)형 포토다이오드가 사용될 수 있으며, 바람직하게는 PIN형 포토다이오드가 사용될 수 있다.
- [0161] P형, I형 및 N형 반도체층은 비정질 또는 미세결정질 실리콘으로 형성될 수 있고, P형 반도체층은 예를 들어,

붕소(B), 칼륨(K) 등의 p형 불순물이 도핑되어 있는 실리콘 물질로 형성될 수 있으며, I형 반도체층은 불순물을 포함하지 않는 실리콘 물질로 형성될 수 있고, N형 반도체층은 예를 들어, 인(P), 비소(As), 안티몬(Sb) 등의 n형 불순물이 도핑되어 있는 실리콘 물질로 형성될 수 있다.

- [0162] 실리콘 포토다이오드로서 PIN형 포토다이오드가 사용될 경우, 가시광선이 P형 비정질 실리콘층을 투과하여 I형 비정질 실리콘층에 흡수되고, I형 비정질 실리콘층 내에서 비정질 실리콘의 광학적 밴드갭(band gap)보다 큰 에너지를 가지는 가시광선에 의해 전자와 정공이 생성되면, I형 비정질 실리콘층에서 발생된 전자와 정공은 내부 전계에 의해 P형 비정질 실리콘층과 N형 비정질 실리콘층으로 수집될 수 있다. 또한, 전자와 정공들은 전극을 통해 외부회로로 공급될 수 있다.
- [0163] 실리콘 포토다이오드는 이온 주입(ion implant), 에피택시얼성장(epitaxial growth), 증착(deposition) 또는 용액(solution) 공정으로 형성될 수 있다.
- [0164] 기관(130)은 광전변환부(120) 하부에 배치된다. 즉, 광전변환부(120)는 기관(130) 상에 형성된다.
- [0165] 기관(130)은 상보형금속산화반도체(CMOS, complementary metal-oxide semiconductor), 전하결합소자(CCD, charge coupled device) 또는 박막트랜지스터(TFT, thin film transistor)를 포함하는 어레이(array) 기관일 수 있다.
- [0166] 엑스선 검출기(100)는 의료용뿐만 아니라, 산업용으로도 널리 사용되는데, 의료용의 경우 외부환경에 크게 영향을 받지 않으나, 산업용의 경우 외부환경에 크게 영향을 받을 수 있다.
- [0167] CMOS 어레이 기관은 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 기관은 고해상도의 고속처리가 가능하기 때문에 차후에는 싱글포톤카운팅(single photon counting) 검출기로도 이용될 수 있다. 하지만, CMOS 기관의 경우 실리콘(Si) 기반으로 제조하기 때문에 대면적으로 제조하는 데에는 어려움이 있다.
- [0168] CCD 어레이 기관은 다른 어레이 기관을 이용한 검출기에 비해 수명이 길고, 온도변화에도 우수한 장점이 있으며, 비파괴 검사 분야 및 미세 영상구조를 영상화하는데 유리하다.
- [0169] TFT 어레이 기관은 대면적 제조가 용이하여 흉부 및 산업용 검출기로 널리 이용될 수 있다. 이하, 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기(100)를 설명함에 있어서, 기관(130)으로서 어레이 기관을 예시적으로 기재하지만, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0170] 기관(130)은 어레이 기관일 수 있고, 어레이 기관은 박막트랜지스터(TFT)(미도시) 및 커패시터(미도시)를 포함할 수 있다.
- [0171] 박막트랜지스터(TFT)(미도시)는 광전변환부(120)에서 생성된 전기적 신호를 순차적으로 외부 회로로 출력시키기 위한 스위칭 소자의 역할을 할 수 있다.
- [0172] 또한, 커패시터(미도시)는 광전변환부(120)에서 변환된 전기적 신호를 축적하기 위해 기관(130)에 제공될 수 있고, 커패시터(미도시)는 각각의 박막트랜지스터(TFT) 아래에 설치될 수 있으나, 광전변환부(120)의 용량에 따라 광전변환부(120)가 커패시터(미도시)를 결합 수도 있다.
- [0173] 기관(130)은 절연성 물질로 형성될 수 있다. 기관(130)은 예를 들어, 유리(glass), 석영(quartz), 실리콘(silicon) 또는 플라스틱(plastic)으로 형성될 수 있다.
- [0174] 일례로, 플라스틱 기관은 플렉서블(flexible) 또는 벤더블(bendable) 엑스선 검출기에 사용될 수 있다. 또한, 실리콘 기관은 두께를 100 μm 이하로 가공할 경우 벤더블(bendable) 엑스선 검출기에 사용될 수 있다.
- [0175] 본 발명의 일 실시예에 따른 엑스선 검출기(100)는 광전변환부(120) 상에 보호층(125)을 더 포함할 수 있다.
- [0176] 보호층(125)은 광전변환부(120)를 보호하도록 광전변환부(120) 상에 형성될 수 있다. 즉, 광전변환부(120)는 보호층(125)에 매립되어 보호층(125)에 의해 보호될 수 있다.
- [0177] 보호층(125)은 절연성을 갖는 물질로 형성될 수 있다.
- [0178] 보호층(125)은 산화규소(SiO_x), 질화규소(SiN_x), 질산화규소(SiON) 또는 산화알루미늄(AlO_x) 등의 무기절연물질 또는 실리콘(silicon)계 수지, 폴리이미드(polyimide)계 수지, 폴리아미드(polyamide)계 수지, 에폭시(epoxy)계 수지, 파라크실렌(paraxylene)계 수지, 아크릴(acryl)계 수지 등의 유기절연물질로 형성될 수 있으며, 단층

또는 다층으로 형성될 수 있다.

- [0179] 보호층(125)은 전자빔증착(electron beam evaporation), 스퍼터링(sputtering) 또는 열증착(thermal evaporation) 등과 같은 물리적 기상증착(phsical vapor deposition, PVD) 방법, 화학기상증착(chemical vapor deposition, CVD) 또는 코팅(coating)과 같은 용액 공정(solution process)으로 형성될 수 있다.
- [0180] 본 발명의 일 실시예에 따른 엑스선 검출기(100)는 신틸레이터(110) 및 광전변환부(120) 사이에 부착층(140)을 더 포함할 수 있다.
- [0181] 구체적으로, 부착층(140)은 신틸레이터(110) 및 광전변환부(120) 사이에 배치되어 신틸레이터(110)를 광전변환부(120)에 부착시킬 수 있다.
- [0182] 부착층(140)은 광학투명접착(Optical clear adhesive, OCA) 필름을 포함할 수 있다. 구체적으로, 광학투명접착 필름은 신틸레이터(110) 및 광전변환부(120) 사이에 개재되어 신틸레이터(110)와 광전변환부(120)를 결합시킬 수 있다.
- [0183] 광학투명접착 필름은 예를 들어, 투과율이 99% 이상인 아크릴 계열 물질로 형성될 수 있고, 약 5 μm 내지 100 μm 의 두께로 형성될 수 있다. 이와 같이, 신틸레이터(110)를 광전변환부(200)에 부착하기 위한 접착 수단으로서 투과율이 높은 광학투명접착 필름을 사용하여, 광전변환부(120)로 입사되는 광 손실을 최대한 줄임으로써, 엑스선 검출기의 광전 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0184] 부착층(140)은 신틸레이터(110) 및 광전변환부(120) 사이의 가장자리에 형성된 양면 테이프를 더 포함할 수 있다. 양면 테이프는 실질적으로 신틸레이터(110)의 가장자리 형성되어, 신틸레이터(110) 및 광전변환부(120) 사이의 결합력을 더 향상시킬 수 있다.
- [0185] 또한, 부착층(140)은 일정 온도에 의해 접착력이 감소되거나(떨어지거나) 자외선(UV) 조사에 의해 접착력이 감소되는(떨어지는) 테이프를 사용 할 수도 있다.
- [0186] 이로 인해, 엑스레이 검출기는 광전변환부(120)에는 이상이 없지만, 신틸레이터(110)의 손상으로 인해 엑스선 검출기를 사용할 수 없는 경우가 많으나, 이런 경우 신틸레이터(110)만을 교체하여 사용할 수 있다.
- [0187] 지금까지는 일 실시예에 따라 실리콘 포토다이오드를 포함하는 광전변환부를 구비한 엑스선 검출기에 대하여 설명하였다. 실리콘 포토다이오드의 경우, 실리콘에 물질을 도핑하여 금속성을 갖도록 제작이 가능하므로 별도의 전극이 필요 없다. 그러나, 광전변환부로 페로브스카이트 흡수층을 사용하는 경우에는 페로브스카이트 흡수층의 양단에 금속성을 갖는 전극이 필요하다.
- [0188] 또한, 실리콘 포토다이오드는 광 흡수 계수가 일정 값으로 정해져 있으나, 페로브스카이트 광흡수층은 다양한 구조 및 구성 비율의 페로브스카이트 화합물에 따라 광 흡수 계수를 다르게 제작할 수 있다.
- [0189] 즉, 실리콘 포토다이오드를 사용하는 경우, 가시광 영역에서 가장 흡수율이 높은 550 nm의 파장대의 신틸레이터를 사용한다. 하지만 다른 파장대에서는 실리콘 포토다이오드의 성능이 저하되게 된다.
- [0190] 그러나, 페로브스카이트 광흡수층을 페로브스카이트 화합물을 사용하여 제작하는 경우, 다양한 구조 및 구성 비율의 페로브스카이트 화합물에 의해 550 nm의 파장대뿐만 아니라 다른 파장대에서도 발광 효율이 우수한 광전변환부를 제조할 수 있다.
- [0191] 이하에서는 광전변환부로서 페로브스카이트 광흡수층을 포함하는 엑스선 검출기에 대하여 설명하기로 한다.
- [0193] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.
- [0194] 도 3을 참조하면, 엑스선 검출기(200)는 신틸레이터(210), 광전변환부(220) 및 기판(230)을 포함한다.
- [0195] 도 3의 엑스선 검출기(200)는 도 1의 실리콘 포토다이오드를 포함하는 광전변환부(120)를 구비한 엑스선 검출기(100)와 비교 시, 제1 전극(221), 페로브스카이트 광흡수층(222) 및 제2 전극(223)을 포함하는 광전변환부(220)를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0196] 즉, 본 발명의 다른 실시예에 따른 엑스선 검출기(200)의 구성요소는 전술한 본 발명의 일 실시예에 따른 엑스선 검출기(100)와 동일한 기술적 구성요소를 포함할 수 있고, 중복되는 구성요소에 대해서는 중복 기재를 생략하기로 한다.

- [0197] 신틸레이터(210)는 외부로부터 입사된 엑스선(X-ray)을 가시광선으로 변환하고, 신틸레이터(210)는 하기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0198] [화학식 1]
- [0199] AMX_3
- [0200] 상기 화학식 1에서, A는 1가의 양이온이고, M은 2가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온이다.
- [0201] 광전변환부(220)는 제1 전극(221), 페로브스카이트 광흡수층(222) 및 제2 전극(223)을 포함한다.
- [0202] 제1 전극(221)은 기판(230) 상에 형성된다. 예를 들어, 제1 전극(221)은 박막트랜지스터(미도시) 및 커패시터(미도시)가 형성된 기판(130)을 컨포멀(conformal)하게 덮도록 형성된 층간 절연층(미도시) 상에 형성될 수 있다.
- [0203] 제1 전극(221)은 복수 개의 픽셀 전극일 수 있다. 구체적으로, 제1 전극(221)은 기판(230)상에 복수 개의 픽셀 단위로 형성되어 엑스선(X-ray) 영상을 구성하는 픽셀 어레이를 형성할 수 있다.
- [0204] 제1 전극(221)은 전기적 특성이 우수한 전도성 물질로 형성될 수 있다.
- [0205] 제1 전극(221)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 폴리에틸렌디옥시테오펜: 폴리스티렌설포네이트(PEDOT:PSS)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하도록 형성될 수 있다.
- [0206] 페로브스카이트 광흡수층(222)은 제1 전극(221) 상에 형성된다.
- [0207] 페로브스카이트 광흡수층(222)은 제2 전극(223)을 통과하여 페로브스카이트 광흡수층(222)에 입사된 가시광선에 의해 전자-정공 쌍(electron-hole pair)을 발생시킨다. 전자-정공 쌍의 양은 페로브스카이트 광흡수층(222)에 흡수되는 가시광선의 에너지 양에 따라 달라질 수 있다.
- [0208] 또한, 페로브스카이트 광흡수층(222)은 페로브스카이트 화합물을 포함한다. 구체적으로, 페로브스카이트 광흡수층(222)은 제2 전극(223)을 통과해 입사된 가시광선을 흡수하여 전기적 신호로 변환할 수 있는 물질로서, 페로브스카이트 구조(perovskite structure)를 갖는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0209] 페로브스카이트 광흡수층(222)은 페로브스카이트 화합물의 구조 및 구성 비율에 따라 빛을 최대 흡수할 수 있는 영역을 조절 할 수 있으며, 빛의 흡수량이 증가하게 되면 변환되는 전자-정공 쌍(electron-hole pair)의 양도 증가하게 된다.
- [0210] 또한, 신틸레이터(210) 및 페로브스카이트 광흡수층(222)을 모두 페로브스카이트 화합물을 사용하면, 발광되는 영역의 빛을 최대한 많이 흡수할 수 있는 광전변환부(220)를 제작하여 엑스선 검출기의 고효율을 극대화시킬 수 있다는 장점이 있다.
- [0211] 페로브스카이트 광흡수층(222)은 하기 화학식 1 내지 화학식 5로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0212] [화학식 1]
- [0213] AMX_3
- [0214] 상기 화학식 1에서, A는 1가의 양이온이고, M은 2가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온이다.
- [0215] [화학식 2]
- [0216] $A_3M_2X_9$
- [0217] 상기 화학식 2에서, A는 1가의 양이온이고, M은 3가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온이다.
- [0218] [화학식 3]
- [0219] A_3MX_6

- [0220] 상기 화학식 3에서, A는 1가의 양이온이고, M은 3가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온이다.
- [0221] [화학식 4]
- [0222] AM_2X_7
- [0223] 상기 화학식 4에서, A는 1가의 양이온이고, M은 3가의 금속 양이온이며, X는 1가의 음이온이다.
- [0224] [화학식 5]
- [0225] $A_2A'_{n-1}M_nX_{3n+1}$
- [0226] 상기 화학식 5에서, A는 1가의 양이온이고, A'는 1가의 양이온이며, M은 1가, 2가, 3가 또는 4가의 금속 양이온이고, X는 1가 음이온이며, n은 적어도 1이상이다.
- [0227] 상기 화학식 1 내지 화학식 5에서, 상기 A는 1가의 유기 양이온, 1가의 무기 양이온 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0228] 상기 1가의 유기 양이온은 C_{1-24} 의 직쇄 또는 측쇄 알킬, 아민기($-NH_3$), 수산화기($-OH$), 시아노기($-CN$), 할로젠기, 니트로기($-NO$), 메톡시기($-OCH_3$) 또는 이미다졸리움기가 치환된 C_{1-24} 의 직쇄 또는 측쇄 알킬 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0229] 상기 1가의 무기 양이온은 Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Fr^+ , $Cu(I)^+$, $Ag(I)^+$, $Au(I)^+$ 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0230] 상기 화학식 1에서, 상기 M은 Pb^{2+} , Sn^{2+} , Ge^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Ti^{2+} , Zr^{2+} , Hf^{2+} , Rf^{2+} 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0231] 또한, 상기 화학식 2 내지 화학식 4에서, 상기 M은 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+} 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0232] 또한, 상기 화학식 5에서, 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.
- [0233] 상기 화학식 1 내지 화학식 5에서, 상기 X는 F^- , Cl^- , Br^- , I^- , SCN^- , BF_4^- 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0234] 페로브스카이트 화합물은 복수 개의 나노결정입자 형태로 페로브스카이트 광흡수층(222)에 포함될 수 있고, 페로브스카이트 화합물의 입자 크기, 즉, 페로브스카이트 나노결정입자의 크기는 1 nm 내지 900 nm 범위일 수 있으며, 바람직하게는 1 nm 내지 500 nm 범위일 수 있다.
- [0235] 또한, 페로브스카이트 나노결정입자는 코어-셸 구조를 가질 수 있고, 페로브스카이트 나노결정입자는 표면 상에 페로브스카이트 나노결정입자의 표면을 둘러싸도록 형성된 유기 리간드를 더 포함할 수 있다.
- [0236] 페로브스카이트 광흡수층(222)은 유기 바인더를 더 포함할 수 있다. 유기 바인더는 페로브스카이트 화합물과 함께 페로브스카이트 광흡수층(222)에 포함되어, 페로브스카이트 광흡수층(222)의 가요성(flexibility)을 향상시킬 수 있다.
- [0237] 페로브스카이트 광흡수층(222)에는 페로브스카이트 화합물 및 유기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함될 수 있다.
- [0238] 페로브스카이트 광흡수층(222)은 가시광선을 흡수하여 전자와 정공을 생성시키는 역할을 하는데, 유기 바인더가 페로브스카이트 광흡수층(222)에 전술한 중량비 초과로 너무 많이 포함될 경우, 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 발생하는 전자와 정공의 양이 적어져, 분해능 및 해상도가 떨어지게 되고, 이로 인해 엑스선 검출기의 성능을 저하시킬 수 있다.
- [0239] 페로브스카이트 광흡수층(222)은 무기 바인더(inorganic binder)를 더 포함할 수 있다.
- [0240] 페로브스카이트 광흡수층(222)에는 페로브스카이트 화합물 및 무기 바인더가 90:10 내지 10:90의 중량비로 포함

될 수 있다.

- [0241] 무기 바인더가 페로브스카이트 광흡수층(222)에 전술한 중량비 초과로 너무 많이 포함될 경우, 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 발생하는 전자와 정공의 양이 감소하여, 분해능 및 해상도가 떨어지게 되고, 이로 인해 엑스선 검출기의 성능을 저하시킬 수 있다.
- [0242] 무기 바인더의 입자 크기는 1 nm 내지 100 nm 범위일 수 있다. 무기 바인더의 입자 크기가 1 nm 미만일 경우, 균일한 입자를 제어하는데 문제가 있고, 100 nm를 초과할 경우, 가시광선의 산란이 증가하여 고해상도의 이미지를 구현하는데 어려움이 있다.
- [0243] 페로브스카이트 광흡수층(222)은 페로브스카이트 화합물을 용매에 용해시킨 페로브스카이트 화합물 용액을 이용한 용액코팅 방법 또는 증착 방법을 통해 기판(230) 상에 형성될 수 있다.
- [0244] 바람직하게는 페로브스카이트 광흡수층(222)을 용액 공정으로 형성함으로써, 제조공정이 단순해지며, 제조비용을 절감할 수 있다.
- [0245] 페로브스카이트 광흡수층(222)은 박막(thin film)으로 제조될 수 있다. 구체적으로, 페로브스카이트 광흡수층(222)은 100 nm 내지 200 μm 범위의 두께로 형성될 수 있다. 바람직하게는 200 nm 내지 1 μm 범위의 두께로 형성될 수 있다.
- [0246] 페로브스카이트 광흡수층(222)의 두께가 200 μm 를 초과할 경우, 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 변환된 전자-정공 쌍(electron-hole pair)을 기판(230)으로 전달시키기 위한 전압이 증가하고, 기판(230)으로부터의 접촉력 감소로 인한 박리 위험성이 있다. 또한, 페로브스카이트 광흡수층(222)의 두께가 100 nm 미만일 경우, 가시광선의 흡수량이 적어 신호가 노이즈 수준으로 약한 단점이 있다.
- [0247] 페로브스카이트 광흡수층(222)은 페로브스카이트 화합물을 포함하여 형성되어, 트랩밀도가 작으므로, 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 생성된 전하가 트랩에 갇히지 않고 제1 전극으로 원활하게 이동할 수 있는 장점을 가질 수 있다.
- [0248] 제2 전극(223)은 페로브스카이트 광흡수층(222) 상에 형성된다.
- [0249] 제2 전극(223)은 공통 전극일 수 있다.
- [0250] 제2 전극(223)은 전기적 특성이 우수한 전도성 물질이되, 투명한 투명 전극으로 형성될 수 있다.
- [0251] 제2 전극(223)은 예를 들어, 인듐주석산화물(ITO), 인듐아연산화물(IZO), 알루미늄아연산화물(AZO), 불소산화주석(FTO), 탄소나노튜브(CNT), 그래핀 및 폴리에틸렌디옥시오펜: 폴리스티렌설포네이트(PEDOT:PSS)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함하도록 형성될 수 있다.
- [0252] 결과적으로, 광전변환부(220)로서 페로브스카이트 광흡수층(222)을 포함하는 엑스선 검출기의 작동원리를 설명하면 아래와 같다.
- [0253] 외부로부터 신틸레이터(210)에 입사된 엑스선(X-ray)은 신틸레이터(210)에서 가시광선으로 변환되고, 신틸레이터(210)에서 변환된 가시광선은 광전변환부(220)의 제2 전극(223)을 통과한 후, 페로브스카이트 광흡수층(222)에 흡수되어 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 전자-정공 쌍(electron-hole pair)을 생성시킨다.
- [0254] 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 생성된 전자-정공 쌍은 제2 전극(223) 및 제1 전극(221)에 인가된 전압에 의한 전위차에 의해, 분리되어 각각 제2 전극(223) 및 제1 전극(221)으로 이동한다.
- [0255] 예를 들어, 제2 전극(223)에 음(-)전압이 인가되면, 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 생성된 정공(hole)은 제2 전극(223) 쪽으로 이동하게 되고 전자(electron)는 제1 전극(221) 쪽으로 이동하게 된다. 반면, 제2 전극(223)에 양(+)전압이 인가되면, 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 생성된 전자는 제2 전극(223) 쪽으로 이동하게 되고 정공은 제1 전극(221) 쪽으로 이동하게 된다.
- [0256] 제1 전극(221)으로 이동한 전하(전자 또는 정공)는 기판(230)에 형성된 커패시터(미도시)에 저장되고, 커패시터에 전하가 저장되어 엑스선 검출 전압을 저장할 수 있다.
- [0257] 즉, 신틸레이터(210)에 엑스선이 조사됨에 따라, 커패시터(에 소정의 전압이 형성되고, 커패시터에 걸리는 소정의 전압은 신틸레이터(210)에 조사된 엑스선량에 따라 달라지며, 이러한 소정의 전압은 기판(230)에 형성된 박막트랜지스터(TFT)(미도시)의 동작에 의해 전기적 신호로 읽힐 수 있다.

- [0258] 구체적으로, 기관(230)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.
- [0260] 이하에서는, 본 발명의 다른 실시예에 따른, 제1 전극(221) 및 제2 전극(223) 사이에 전자 전달층 및/또는 정공 전달층이 더 포함된 엑스선 검출기(200)를 설명하기로 한다. 본 발명의 다른 실시예에 따른 엑스선 검출기(200)를 설명함에 있어서, 기관(230)으로서 어레이 기관을 예시적으로 하여 기재하지만, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0261] 전자 전달층은 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 생성된 전자가 제1 전극(221) 및/또는 제2 전극(223)으로 원활하게 이동되도록 하고, 이로 인해 암전류(dark current)를 감소시킬 수 있다. 또한, 정공 전달층은 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 생성된 정공이 제1 전극(221) 및/또는 제2 전극(223)으로 원활하게 이동되도록 하고, 암전류를 감소시킬 수 있다.
- [0262] 구체적으로, 전자 전달층은 제1 전극(221) 및 페로브스카이트 광흡수층(222) 사이, 페로브스카이트 광흡수층(222) 및 제2 전극(223) 사이 또는 이들 모두에 형성될 수 있다. 또한, 정공 전달층은 제1 전극(221) 및 페로브스카이트 광흡수층(222) 사이, 페로브스카이트 광흡수층(222) 및 제2 전극(223) 사이 또는 이들 모두에 형성될 수 있다.
- [0263] 일례로, 제1 전극(221) 및 페로브스카이트 광흡수층(222) 사이에 전자 전달층이 형성될 경우, 페로브스카이트 광흡수층(222) 및 제2 전극(223) 사이에는 정공 전달층이 형성될 수 있고, 이와 반대로, 제1 전극(221) 및 페로브스카이트 광흡수층(222) 사이에 정공 전달층이 형성될 경우, 페로브스카이트 광흡수층(222) 및 제2 전극(223) 사이에는 전자 전달층이 형성될 수 있다.
- [0264] 이하에서는 도 4 내지 도 11을 참조하여 전자 전달층 및/또는 정공 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기에 대하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0266] 도 4는 본 발명의 일 측에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이에 형성된 전자 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.
- [0267] 도 4를 참조하면, 엑스선 검출기(200)는 신틸레이터(210), 광전변환부(220) 및 기관(230)을 포함하고, 광전변환부(220)는 기관(230) 상에 형성된 제1 전극(221), 제1 전극(221) 상에 형성된 전자 전달층(224), 전자 전달층(224) 상에 형성된 페로브스카이트 광흡수층(222) 및 페로브스카이트 광흡수층(222) 상에 형성된 제2 전극(223)을 포함한다.
- [0268] 전자 전달층(224)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.
- [0269] 전자 전달층(224)은 용액을 이용하여 다양한 용액코팅 방법 또는 증착 방법을 통해 형성될 수 있다.
- [0270] 용액코팅 방법은 예를 들어, 스핀코팅, 스프레이코팅, 울트라스프레이코팅, 전기방사코팅, 슬롯다이코팅, 그라비아코팅, 바코팅, 롤코팅, 딥코팅, 쉬어코팅, 스크린 프린팅, 잉크젯 프린팅 또는 노즐 프린팅 등이 있다.
- [0271] 증착 방법은 예를 들어, 감압, 상압 또는 가압조건에서, 스퍼터링, 원자층증착, 화학기상증착, 열증착, 동시증착 방법 또는 플라즈마 강화 화학기상증착 등이 있다.
- [0272] 전자 전달층(224)은 전자를 페로브스카이트 광흡수층(222)으로 이동시키는 층으로서, 전자가 페로브스카이트 광흡수층(222)으로 효과적으로 전달되게 하고, 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 정공과 전자의 밀도가 균형을 이루도록 하여 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0273] 도 5는 본 발명의 일 측에 따른 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 전자 전달층을 더 포함하

는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

- [0274] 도 5를 참조하면, 엑스선 검출기(200)는 신틸레이터(210), 광전변환부(220) 및 기관(230)을 포함하고, 광전변환부(220)는 기관(230) 상에 형성된 제1 전극(221), 제1 전극(221) 상에 형성된 페로브스카이트 광흡수층(222), 페로브스카이트 광흡수층(222) 상에 형성된 전자 전달층(224) 및 전자 전달층(224) 상에 형성된 제2 전극(223)을 포함한다.
- [0275] 도 6은 본 발명의 일 측면에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이에 형성된 정공 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.
- [0276] 도 6을 참조하면, 엑스선 검출기(200)는 신틸레이터(210), 광전변환부(220) 및 기관(230)을 포함하고, 광전변환부(220)는 기관(230) 상에 형성된 제1 전극(221), 제1 전극(221) 상에 형성된 정공 전달층(225), 정공 전달층(225) 상에 형성된 페로브스카이트 광흡수층(222) 및 페로브스카이트 광흡수층(222) 상에 형성된 제2 전극(223)을 포함한다.
- [0277] 정공 전달층(225)은 예를 들어, 티오펜계, 파라페닐렌비닐렌계, 카바졸계 또는 트리페닐아민계 물질을 적어도 어느 하나를 포함하도록 형성될 수 있다.
- [0278] 정공 전달층(225)은 용액을 이용하여 다양한 용액코팅 방법 또는 증착 방법을 통해 형성될 수 있다.
- [0279] 용액코팅 방법은 예를 들어, 스핀코팅, 스프레이코팅, 울트라스프레이코팅, 전기방사코팅, 슬롯다이코팅, 그라비아코팅, 바코팅, 롤코팅, 딥코팅, 쉬어코팅, 스크린 프린팅, 잉크젯 프린팅 또는 노즐 프린팅 등이 있다.
- [0280] 증착 방법은 예를 들어, 감압, 상압 또는 가압조건에서, 스퍼터링, 원자층증착, 화학기상증착, 열증착, 동시증착 방법 또는 플라즈마 강화 화학기상증착 등이 있다.
- [0281] 정공 전달층(225)은 정공을 페로브스카이트 광흡수층(222)으로 이동시키는 층으로서, 정공이 페로브스카이트 광흡수층(222)으로 효과적으로 전달되게 하고, 페로브스카이트 광흡수층(222)에서 정공과 전자의 밀도가 균형을 이루도록 하여 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0282] 도 7은 본 발명의 일 측면에 따른 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 정공 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.
- [0283] 도 7을 참조하면, 엑스선 검출기(200)는 신틸레이터(210), 광전변환부(220) 및 기관(230)을 포함하고, 광전변환부(220)는 기관(230) 상에 형성된 제1 전극(221), 제1 전극(221) 상에 형성된 페로브스카이트 광흡수층(222), 페로브스카이트 광흡수층(222) 상에 형성된 정공 전달층(225) 및 정공 전달층(225) 상에 형성된 제2 전극(223)을 포함한다.
- [0284] 도 8은 본 발명의 일 측면에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이에 형성된 전자 전달층과, 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 정공 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.
- [0285] 도 8을 참조하면, 엑스선 검출기(200)는 신틸레이터(210), 광전변환부(220) 및 기관(230)을 포함하고, 광전변환부(220)는 기관(230) 상에 형성된 제1 전극(221), 제1 전극(221) 상에 형성된 전자 전달층(224), 전자 전달층(224) 상에 형성된 페로브스카이트 광흡수층(222), 페로브스카이트 광흡수층(222) 상에 형성된 정공 전달층(225) 및 정공 전달층(225) 상에 형성된 제2 전극(223)을 포함한다.
- [0286] 도 9는 본 발명의 일 측면에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이에 형성된 정공 전달층과, 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 전자 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.
- [0287] 도 9를 참조하면, 엑스선 검출기(200)는 신틸레이터(210), 광전변환부(220) 및 기관(230)을 포함하고, 광전변환부(220)는 기관(230) 상에 형성된 제1 전극(221), 제1 전극(221) 상에 형성된 정공 전달층(225), 정공 전달층(225) 상에 형성된 페로브스카이트 광흡수층(222), 페로브스카이트 광흡수층(222) 상에 형성된 전자 전달층(224) 및 전자 전달층(224) 상에 형성된 제2 전극(223)을 포함한다.
- [0288] 도 10은 본 발명의 일 측면에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이와, 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 정공 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.
- [0289] 도 10을 참조하면, 엑스선 검출기(200)는 신틸레이터(210), 광전변환부(220) 및 기관(230)을 포함하고, 광전변

환부(220)는 기관(230) 상에 형성된 제1 전극(221), 제1 전극(221) 상에 형성된 정공 전달층(225), 정공 전달층(225) 상에 형성된 페로브스카이트 광흡수층(222), 페로브스카이트 광흡수층(222) 상에 형성된 정공 전달층(225) 및 정공 전달층(225) 상에 형성된 제2 전극(223)을 포함한다.

[0290] 도 11은 본 발명의 일 측에 따른 제1 전극 및 페로브스카이트 광흡수층 사이와, 페로브스카이트 광흡수층 및 제2 전극 사이에 형성된 전자 전달층을 더 포함하는 엑스선 검출기의 단면도를 도시한 것이다.

[0291] 도 11을 참조하면, 엑스선 검출기(200)는 신틸레이터(210), 광전변환부(220) 및 기관(230)을 포함하고, 광전변환부(220)는 기관(230) 상에 형성된 제1 전극(221), 제1 전극(221) 상에 형성된 전자 전달층(224), 전자 전달층(224) 상에 형성된 페로브스카이트 광흡수층(222), 페로브스카이트 광흡수층(222) 상에 형성된 전자 전달층(224) 및 전자 전달층(224) 상에 형성된 제2 전극(223)을 포함한다.

[0293] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 고감도의 고성능 특성을 가져 의료용(흉부용 또는 치과용) 엑스선 검출기, 산업용 엑스선 불량 검출기, 엑스선 분광 분석기 또는 CT 기능을 가지는 고해상도 엑스선 이미지 센서로 적용이 가능하다.

[0294] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 기존 엑스선 검출기가 인지할 수 없는 국소의 이미지를 인지함으로써, 엑스선 촬영을 통해 고해상도의 이미지를 얻어 질병 조기 진단 및 결정성 물질의 구조 분석에 이용이 가능하다.

[0295] 이하, 도 12를 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함하는 엑스선 시스템을 설명하기로 한다.

[0297] 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함하는 엑스선 시스템을 나타낸 것이다.

[0298] 도 12는 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.

[0299] 도 12를 참조하면, 엑스선 시스템(300)은 엑스선(311)을 발생시키는 엑스선 발생기(310), 엑스선을 검출하기 위한 엑스선 검출기(320), 엑스선 검출기(320)를 구동시키는 구동부(330), 엑스선 검출기(320)의 엑스선 검출 전압을 처리하는 데이터 처리부(340), 엑스선 검출 전압에 따른 영상 출력 신호를 출력하는 영상 신호 출력부(350) 및 영상 신호에 따라 영상을 출력하는 디스플레이 장치(360)를 포함할 수 있다.

[0300] 엑스선 발생기(310)에서 발생된 엑스선(311)은 환자(370)의 피검사 부위(371)에 조사될 수 있다. 환자(370)의 피검사 부위(371)를 투과하는 엑스선은 엑스선 검출기(320)에 조사될 수 있다.

[0301] 엑스선 발생기(310)는 형광색 등을 측정하기에 효과적인 폴리크로메틱(polychromatic) 방식으로, 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.

[0302] 또한, 엑스선 발생기(310)는 하나의 단위 엑스선 발생기 또는 복수 개의 단위 엑스선 발생기일 수 있고, 겐트리(gentry) 엑스선 발생기일 수 있다.

[0303] 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.

[0304] 캐소드 전극은 유리, 금속, 석영, 규소 또는 알루미늄으로 형성된 기관의 상부에 위치하는 것으로서, 캐소드 전극 상에는 점광원 형태 및/또는 면광원 형태의 에미터가 위치하게 된다.

[0305] 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.

[0306] 또한, 에미터의 종류는 특별히 제한되지 않으나, 금속, 탄소계열 물질로 구성된 전도성 물질이 사용될 수 있다.

[0307] 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.

- [0308] 애노드 전극은 에미터의 상측에 형성되고, 애노드 전극에는 전원을 인가하기 위한 전극 및/또는 DC 전원공급기가 형성될 수 있다. 이러한 애노드 전극의 재료는 일반적으로 구리, 텅스텐, 망간, 몰리브 또는 이들의 조합을 포함할 수 있고, 박막형 엑스레이의 경우 애노드 전극은 금속 박막으로 형성될 수 있다.
- [0309] 이러한 구성으로 인해, 에미터가 전자를 방출하는 경우에 방출된 전자는 애노드 전극을 구성하는 금속에 충돌한 후, 반사 또는 그 금속을 통과하면서 엑스선을 발생시킬 수 있다.
- [0310] 엑스선 검출기(320)는 제공된 엑스선(311)의 강도(intensity)에 대응하는 엑스선 검출 전압을 데이터 처리부(340) 및 영상 신호 출력부(350)를 거쳐 디스플레이 장치(360)로 제공할 수 있다.
- [0311] 엑스선 검출기(320)는 본 발명의 실시예에 따른 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터를 포함한다. 엑스선 검출기(320)는 도 1 또는 도 3을 참조하여 설명한 엑스선 검출기(100, 200)와 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.
- [0312] 디스플레이 장치(360)는 영상 신호에 대응하는 엑스선 영상을 실시간으로 디스플레이할 수 있다. 일례로, 디스플레이 장치(360)는 액정표시장치(LCD, Liquid Crystal Display) 등으로 구성될 수 있다.
- [0313] 이하 도 13을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함하는 엑스선 회절(XRD) 분석 장치에 대해 설명하기로 한다.
- [0315] 도 13은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 엑스선 회절(XRD) 분석 장치를 도시한 이미지이다.
- [0316] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 엑스선 회절(XRD) 분석 장치에 사용될 수 있다.
- [0317] 도 13을 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.
- [0318] 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.
- [0319] 엑스선 발생기(420)는 도 12를 참조하여 설명한 엑스선 발생기(310)와 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.
- [0320] 엑스선 검출기(430)는 본 발명의 실시예에 따른 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터를 포함한다. 엑스선 검출기(430)는 도 1 또는 도 3을 참조하여 설명한 엑스선 검출기(100, 200)와 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.
- [0321] 엑스선 회절(XRD) 분석 장치(400)는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기(430)를 포함함으로써, 엑스선에 대한 내구성 및 안정성을 향상시킬 수 있다.
- [0322] 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.
- [0323] 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.
- [0324] 이하 도 14를 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함하는 비파괴 검사 장치의 응용 분야에 대해 설명하기로 한다.
- [0326] 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 비파괴 검사 장치의 응용 분야를 도시한 이미지이다.
- [0327] 본 발명의 실시예에 따른 비파괴 검사 장치는 엑스선을 조사하는 엑스선 발생기 및 피검체에 투과되는 엑스선을 검출하는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함한다.

- [0328] 엑스선 발생기는 도 12를 참조하여 설명한 엑스선 발생기(310)와 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.
- [0329] 엑스선 검출기는 피검체를 사이에 두고 엑스선 발생기 반대측에 배치된다.
- [0330] 엑스선 검출기는 본 발명의 실시예에 따른 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터를 포함한다. 엑스선 검출기는 도 1 또는 도 3을 참조하여 설명한 엑스선 검출기(100, 200)와 동일한 구성요소를 가지므로 중복되는 구성요소에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.
- [0331] 본 발명의 실시예에 따른 비파괴 검사 장치는 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기를 포함함으로써, 엑스선에 대한 내구성 및 안정성을 향상시킬 수 있다.
- [0332] 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.
- [0333] 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.
- [0334] 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.
- [0335] 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.
- [0337] 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 검출기는 관전압(Tube voltage)에 따라 응용되는 분야가 다르다. 엑스선 검출기의 응용분야에 따른 관전압 및 공간분해능을 하기 표 2에 나타내었다.

표 2

[0338]	응용분야	관전압(kpV)	요구되는 신틸레이터 두께(μm)	공간분해능 (lp/mm)
	결정학 (crystallography)	8~20	30~50	10
	비파괴 검사	30~600	70~1,000	5~10
	흉부	80~150	500	~6
	맘모(mammo)	20~30	100~150	15~20
	덴탈	50~70	70~300	7~10
	마이크로 CT	24~50	50~200	20

- [0340] 표 2을 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.
- [0341] 또한, 관전압이 달라짐에 따라 신틸레이터의 두께도 달라지게 되고, 각 응용 분야에 따라 요구되는 공간 분해능이 정해져 있다.
- [0342] 신틸레이터는 더 큰 에너지의 포톤(photon)들을 흡수하기 위해서는 두께를 두껍게 형성하여야 하며, 신틸레이터의 두께는 구성 원소에 따라 달라질 수 있다.
- [0343] 엑스선은 에너지가 높기 때문에 어레이 기판의 트랜지스터 및 커패시터 등의 손상을 최소화하기 위해, 신틸레이터에서 엑스선을 90% 이상 흡수하는 것이 가장 이상적이지만, 이럴 경우 산란이 증가하여 분해능을 저하시키는

요인이 된다. 따라서 최소한 엑스선을 10% 이상 흡수하는 신틸레이터를 제조해야 하며, 바람직하게는 각 응용되는 분야에 따라 요구되는 공간 분해능을 갖는 두께로 제조되는 것이 바람직하다.

[0344] 이하, 본 발명의 실시예 및 비교예를 기재한다. 하기 실시예는 본 발명의 실시예일뿐 본 발명이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0346] **실시예**

[0347] 실시예 1

[0348] (MAPbBr₃ 신틸레이터의 제조)

[0349] 역 나노-에멀전(inverse nano-emulsion)방법을 통하여 삼차원 구조를 갖는 페로브스카이트 나노결정 입자를 제조하였다.

[0350] 구체적으로, 비양자성 용매인 옥타데센(Octadecene, ODE) 10 ml에 세슘카보네이트(Cs₂CO₃) 0.163 g 및 올레산(oleic acid) 0.2 ml를 첨가하고 120 °C의 고온에서 30분간 반응시켜 세슘 올레이트(Cesium oleate) 용액을 제조하였다.

[0351] 또한, 비양자성 용매인 옥타데센 10 ml에 PbBr₂ 0.183 g, 올레산(oleic acid) 0.5 ml, 올레일아민(oleylamine) 0.5 ml를 첨가하고 120 °C의 고온에서 60분간 반응시켜 PbBr₂ 전구체 용액을 제조하였다.

[0352] 강하게 교반 중인 PbBr₂ 전구체 용액에 세슘-올레이트 용액을 천천히 첨가하여 삼차원적인 구조를 갖는 페로브스카이트 나노 결정입자를 형성하였다. 이 때 형성된 페로브스카이트 나노결정입자의 크기는 약 20 nm이었다.

[0353] 이후, 제조된 페로브스카이트 나노결정입자 함유 용액을 25 mm x 25 mm 크기의 폴리디메틸실록산(Polydimethylsiloxane, PDMS) 기판 상에 닥터블레이드(doctor blade) 장비를 이용하여 코팅하여 페로브스카이트 나노결정입자 박막(신틸레이터)을 제조한 후, 70 °C로 유지된 오븐에서 20분간 열처리하여 페로브스카이트 나노결정의 내구성을 강화시켰다. 이때 제조된 페로브스카이트 나노결정입자 박막의 두께는 약 900 nm이었다.

[0354] (실리콘 포토다이오드를 포함하는 광전변환부의 제조)

[0355] 실리콘 포토다이오드가 구비된 CMOS 기판은 n타입 실리콘 기판 상에 p타입 불순물(B, 붕소)를 주입하여 PN정선을 형성하였고, 이후 패터닝된 마스크를 이용하여 리소그래피 공정을 통해 픽셀 사이즈는 100 μm x 100 μm, 픽셀 피치는 100 μm가 되도록 제조하였다.

[0356] (MAPbBr₃ 신틸레이터 및 실리콘 포토다이오드를 포함하는 광전변환부를 구비한 엑스선 검출기의 제조)

[0357] 일반적으로 사용되는 25 mm x 25 mm 크기로 다이싱된 실리콘 포토다이오드가 구비된 CMOS 기판과 MAPbBr₃ 신틸레이터를 OCA 필름으로 부착하여 엑스선 검출기를 제조하였다.

[0359] 실시예 2

[0360] (MAPbBr₃ 신틸레이터의 제조)

[0361] 상기 실시예 1과 동일한 공정조건 및 절차로 실시하여 동일한 공정조건 및 절차로 실시하여 MAPbBr₃ 신틸레이터를 제조하였다.

[0362] (MAPbBr₃ 페로브스카이트 광흡수층을 포함하는 광전변환부의 제조)

[0363] 불소 함유 산화주석이 코팅된 유리 기판(FTO; F-doped SnO₂, 8 ohms/sq, Pilkington, 이하 FTO 기판)을 25 mm x 25 mm 크기로 절단한 후, 리소그래피 공정을 통해 픽셀 크기가 0.5 mm x 0.5 mm를 갖고 픽셀 피치가 0.5 mm를 갖는 어레이 기판을 제조하였다.

[0364] 절단 및 부분 에칭된 FTO 기판 상에 전자 전달층으로서 약 50 nm 두께의 치밀한 구조의 TiO₂ 박막을 분무 열분

해법(spray pyrolysis deposition)으로 제조하였다. 분무 열분해는 TAA(Titanium acetylacetonate):EtOH (1:9v/v%) 용액을 이용하여 450 °C의 FTO 기판 상에 분무하여 제조하였다.

[0365] MAPbBr₃ 용액의 제조를 위해, MABr 파우더 및 PbBr₂ 파우더를 1:1의 몰 비율로 DMF(dimethyl formamide, 디메틸 포름아미드) 용매에 넣어 60 °C에서 30분간 용해시켰다. 이때 제조된 MAPbBr₃용액은 MAPbBr₃함량이 40 중량(wt%)이다.

[0366] 전자 전달층/에칭된 FTO 기판을 스핀코터 위에 배치시키고, 전자 전달층/에칭된 FTO 기판 상에 300 μl MAPbBr₃ 용액으로 스핀코팅을 이용하여 약 500 nm 두께의 광전변환부를 형성하였다. 이후, 150 °C에서 10분간 대기중에서 열처리하였다.

[0367] 이후, 열증착기(thermal evaporator)를 이용하여 약 60 nm 두께의 금(Au) 전극을 포토컨덕터층/전자 전달층/FTO 기판 상에 형성하였다.

[0368] (MAPbBr₃ 신틸레이터 및 MAPbBr₃ 페로브스카이트 광흡수층을 포함하는 광전변환부를 구비한 엑스선 검출기의 제조)

[0369] 이렇게 형성된 MAPbBr₃ 페로브스카이트 광흡수층을 포함하는 광전변환부와 MAPbBr₃ 신틸레이터를 OCA 필름을 이용하여 부착하여 엑스선 검출기를 제조하였다.

[0371] 비교예 1

[0372] (GOS(Tb) 신틸레이터의 제조)

[0373] 5 mol% Tb가 도핑된 GOS(Tb) 신틸레이터를 제작하기 위해 증류수 20 ml에 4.287 g의 Gd(NO₃)₃ 파우더와 0.214 g의 Tb(NO₃)₃ 파우더를 첨가하고 서서히 용해 시킨 후 부가적인 물을 첨가하여 50 ml의 용액을 제조하였다. 여기에 40 ml의 1M NaOH 용액을 첨가한 후 스티어링을 통해 잘 혼합하였다.

[0374] 이렇게 제조된 용액을 밀폐된 용기 안에 넣고 180 °C에서 24시간 동안 반응시켜 형성된 하얀색 침전물을 증류수와 에탄올을 통해 3번 세척한 후 90 °C에서 12시간 동안 건조하였다.

[0375] 스크린 형태의 GOS(Tb) 신틸레이터를 제조하기 위하여 다량의 나노 GOS(Tb) 파우더, 결합제 및 분산제를 1:0.2:0.2의 중량비율로 믹서기를 통해 잘 혼합한 후 페이스트 상태로 제조하였다. 스트린 프린팅 방법을 통하여 투명한 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET) 기판 위에 250 μm 박막형태 스크린을 만들고, 120 °C의 오븐에서 1시간 동안의 건조를 통해 GOS(Tb) 신틸레이터를 제조하였다.

[0376] (GOS(Tb) 신틸레이터를 포함하는 엑스선 검출기의 제조)

[0377] 일반적으로 널리 사용되는 25 mm x 25 mm 크기로 다이싱된 실리콘 포토다이오드가 구비된 CMOS 기판과 GOS(Tb) 신틸레이터를 OCA 필름으로 부착하여 엑스선 검출기를 제조하였다.

[0378] 실리콘 포토다이오드가 구비된 CMOS 기판은 n타입 실리콘 기판 상에 p타입 불순물(B, 붕소)를 주입하여 PN정션을 형성하였고, 이후 패터닝된 마스크를 이용하여 리소그래피 공정을 통해 픽셀 사이즈는 100 μm x 100 μm, 픽셀 피치는 100 μm가 되도록 제조하였다.

[0380] 특성 평가

[0381] 하기 표 3는 실시예 1에서 제조된 엑스선 검출기의 신틸레이터 및 비교예 1에서 제조된 엑스선 검출기의 신틸레이터 제조방법 조건을 비교한 것이다.

표 3

[0382]	실시예 1	비교예 1
샘플 제조 방법	바 코팅	바 코팅
1회 공정 예상시간	~ 1시간	~ 40 시간
공정 온도	100 °C	~ 180 °C

진공(Vacuum)	진공 필요 없음	진공 필요 없음
예상 재료비	30 만원 이내	100 만원 이내

[0384] 표 3을 참조하면, 실시예 1의 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터는 비교예 1의 GOS(Tb)를 포함하는 신틸레이터 형성시 보다 단시간, 저온 공정조건으로 인해 재료비가 절감되는 것을 확인할 수 있다.

[0385] 하기 표 4는 실시예 1 및 실시예 2에서 제조된 엑스선 검출기의 광전변환부 제조방법 조건을 비교한 것이다.

표 4

8인치 기준	실시예 1 (실리콘 포토다이오드를 포함하는 광전변환부)	실시예 2 (페로브스카이트 광흡수층을 포함하는 광전변환부)
샘플 제조 방법	리소그래피	스핀 코팅
1회 공정 예상시간	~ 48시간	~ 3 시간
공정 온도	300 °C	~ 150 °C
진공(Vacuum)	진공 필요 없음	진공 필요 없음
예상 재료비	150 만원 이내	50 만원 이내

[0388] 표 4을 참조하면, 실시예 2의 페로브스카이트 광흡수층을 포함하는 광전변환부는 실시예 1의 실리콘 포토다이오드를 포함하는 광전변환부 형성 시 보다 단시간, 저온 공정조건으로 인해 재료비를 절감할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

[0389] 실시예 1에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터를 구성하는 물질을 확인하기 위해, 엑스선 회절(XRD) 분석하였다.

[0390] 도 15는 실시예 1에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터의 엑스선 회절(XRD) 분석 그래프이다.

[0391] 도 15를 참조하면, MAPbBr₃와 관련된 (110) 및 (200) 피크의 관찰을 통해, 실시예 1에서 신틸레이터가 MAPbBr₃ 페로브스카이트 물질로 잘 형성됨을 확인할 수 있다.

[0392] 실시예 1에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터를 구비한 엑스선 검출기의 단면을 관찰하기 위해, 투과전자현미경(TEM)으로 관찰하였다.

[0393] 도 16은 실시예 1에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터의 투과전자현미경(TEM) 이미지이다.

[0394] 도 16을 참조하면, AMX₃의 구조를 갖는 실시예 1에서 제조된 MAPbBr₃ 나노결정입자의 크기가 약 50 nm의 수준으로 잘 형성된 것을 확인할 수 있다.

[0395] 실시예 1, 실시예 2 및 비교예 1에 의해 제조된 신틸레이터에 엑스선(장비명: ORTHOCEPH-OC-100, 회사: Instrumentarium Imaging Dental, 관전압: 77 kVp, 관전류: 12 mA)을 조사하여 발광되는 빛을 실리콘 포토다이오드를 이용하여 전류 밀도를 기록하여 하기 표 5에 나타내었다.

표 5

	실시예 1 (실리콘 포토다이오드를 포함하는 광전변환부)	실시예 2 (페로브스카이트 광흡수층을 포함하는 광전변환부)	비교예 1
엑스선 on 상태의 전류 밀도 (A/cm ²)	5*10 ⁻⁶	3.5*10 ⁻⁵	1.5*10 ⁻⁶
엑스선 off 상태의 전류 밀도 (A/cm ²)	5*10 ⁻¹¹	6.7*10 ⁻¹¹	5*10 ⁻¹¹

[0398] 표 5를 참조하면, 실시예 1에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터와 실리콘 포토다이오드를 포함하는 광전변환부를 구비한 엑스선 검출기 및 실시예 2에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터와 페로브스카이트 광흡수층을 포함하는 광전변환부를 구비한 엑스선 검출기는 비교예 1의 GOS(Tb)을 포함하는 신틸레이터를 구비한 엑스선 검출기 보다 동일한 엑스선 조사시 전류 밀도가 5배 더 크게 향상된 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 통해 엑스선 변환효율이 페로브스카이트 화합물에서 더 우수함을 확인할 수 있다.

[0399] 또한, 표 5를 참조하면, 실시예 1에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터와 실리콘 포토다이오드를 포함하는 광전변환부를 구비한 엑스선 검출기 및 실시예 2에서 제조된 페로브스카이트 화합물을 포함하는 신틸레이터와 페로브스카이트 광흡수층을 포함하는 광전변환부를 구비한 엑스선 검출기는 동일한 엑스선 조사시 전류 밀도가 거의 동일하게 나타남을 확인할 수 있다. 이 결과를 통해 페로브스카이트 광흡수층을 포함하는 광전변환부 및 실리콘 포토다이오드를 포함하는 광전변환부의 성능이 유사하다는 것을 알 수 있다.

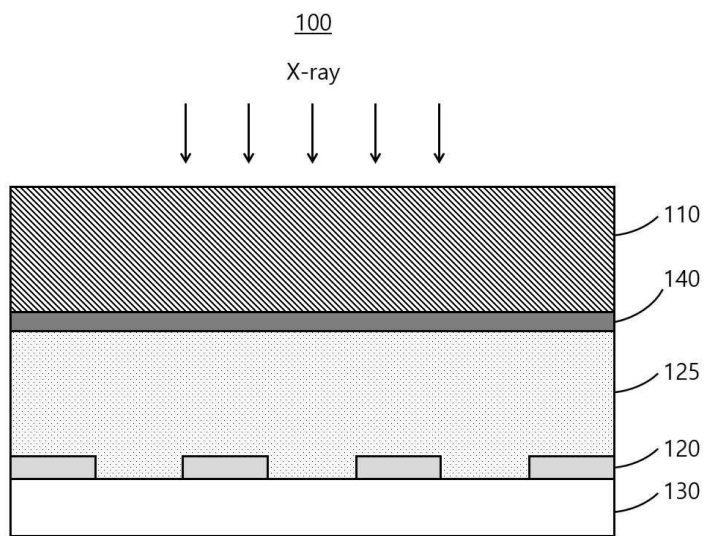
[0401] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

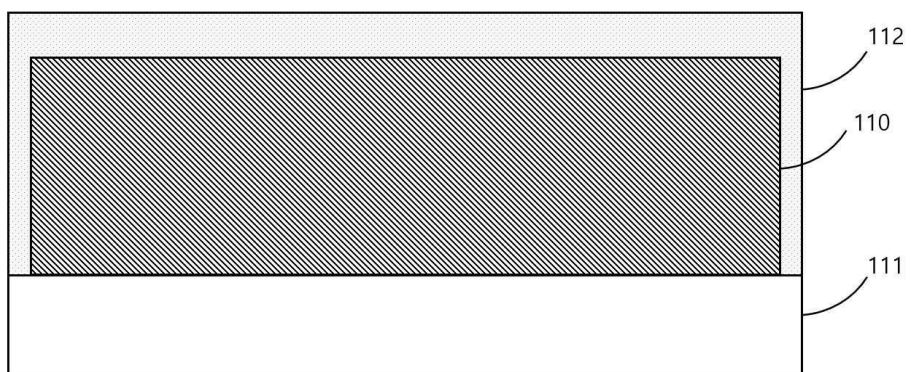
[0402] 100, 200, 320, 430: 엑스선 검출기 110, 210: 신틸레이터
111: 증착 기관 112: 신틸레이터 보호층
120: 광전변환부 125: 보호층
130: 기관 140: 부착층
221: 제1 전극(픽셀 전극) 222: 페로브스카이트 광흡수층
223: 제2 전극(공통 전극) 224: 전자 전달층
225: 정공 전달층 300: 엑스선 시스템
310, 420: 엑스선 발생기 311: 엑스선
330: 구동부 340: 데이터 처리부
350: 영상 신호 출력부 360: 디스플레이 장치
370: 환자 371: 피검사 부위
410: 피검체

도면

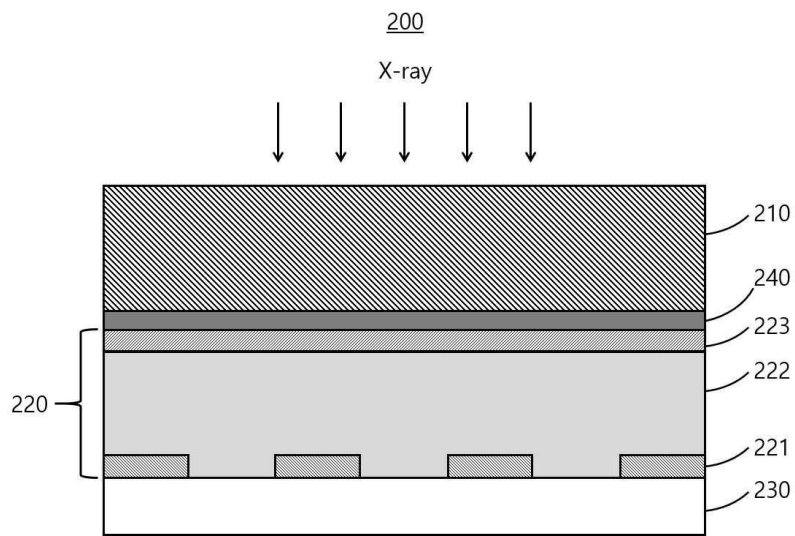
도면1



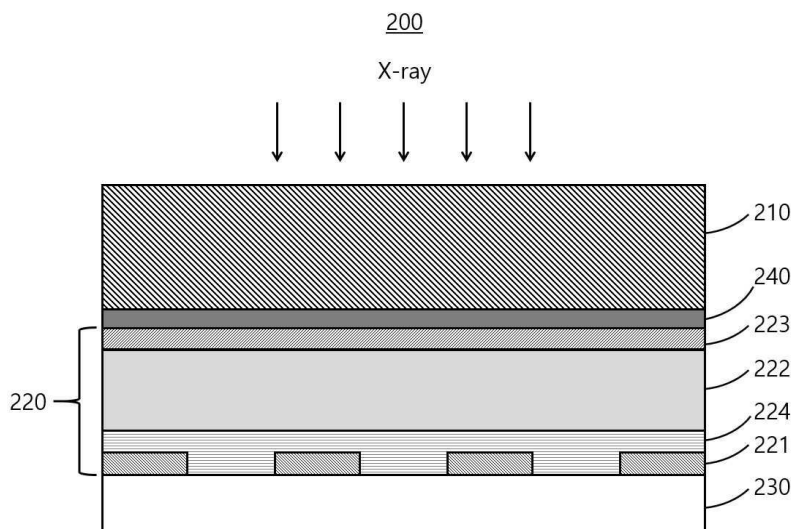
도면2



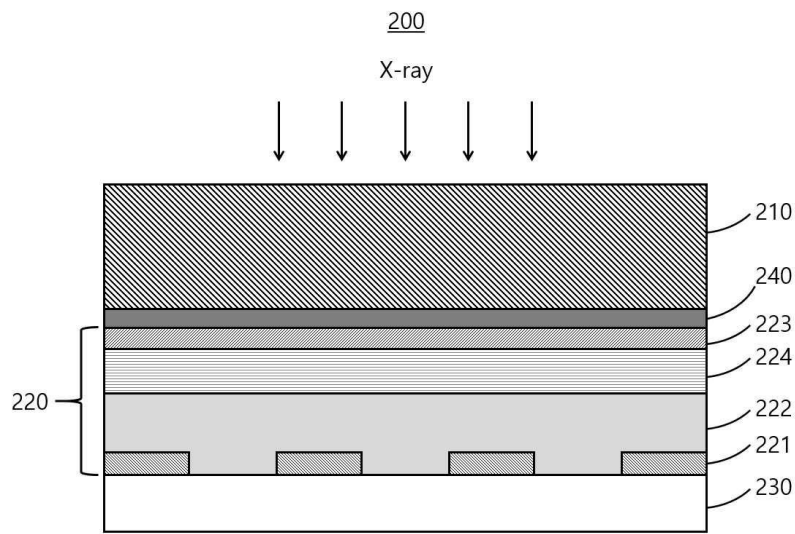
도면3



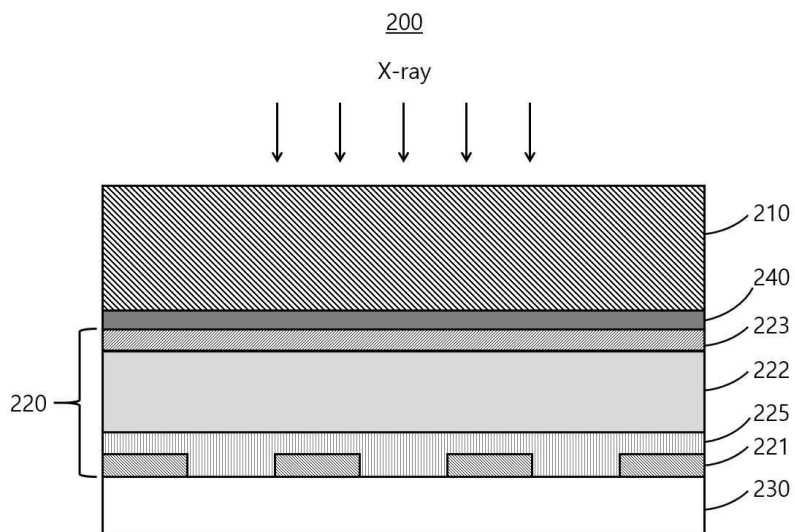
도면4



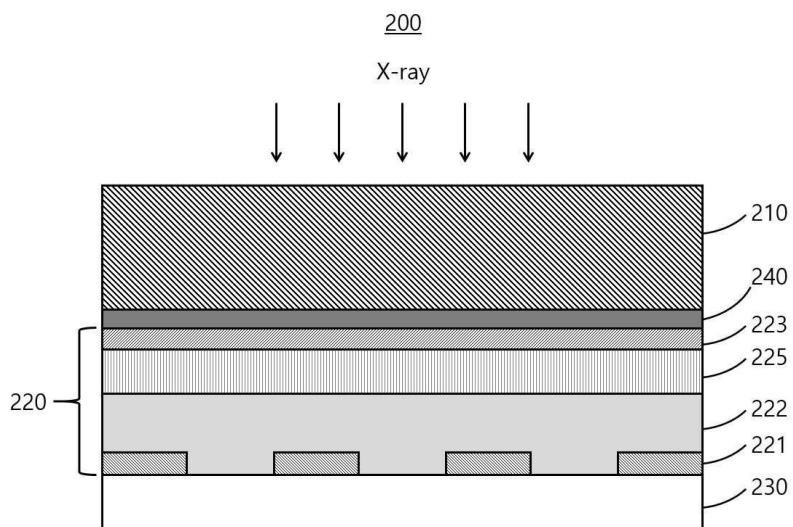
도면5



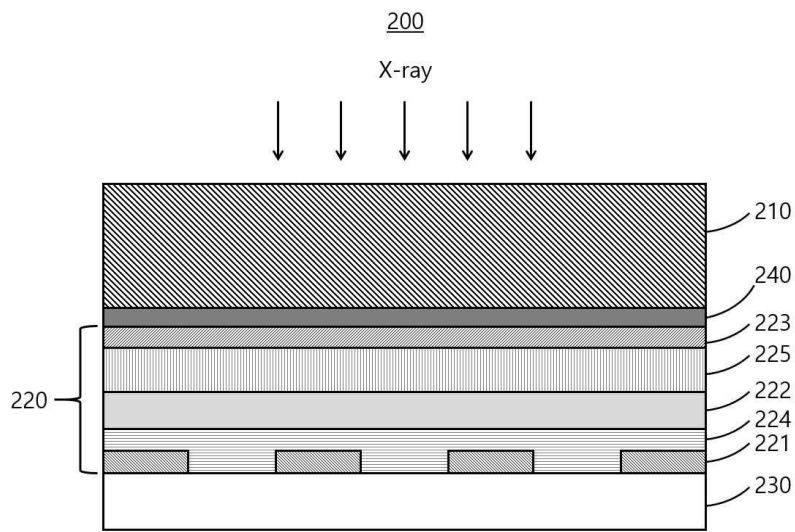
도면6



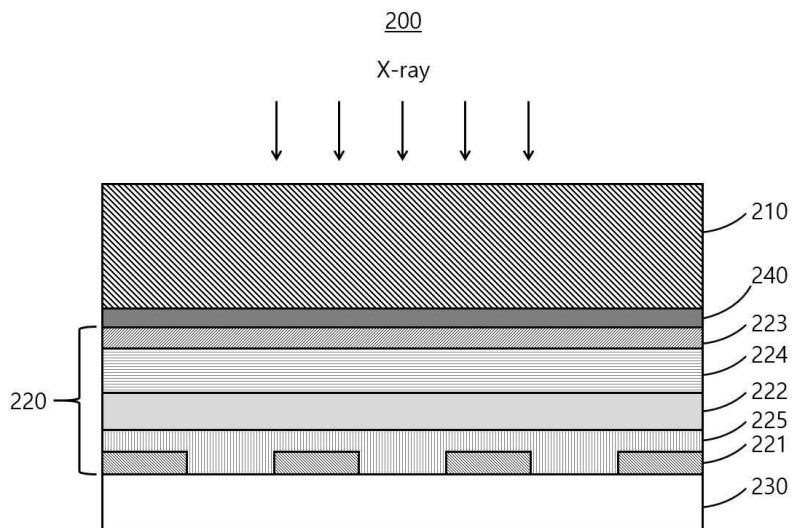
도면7



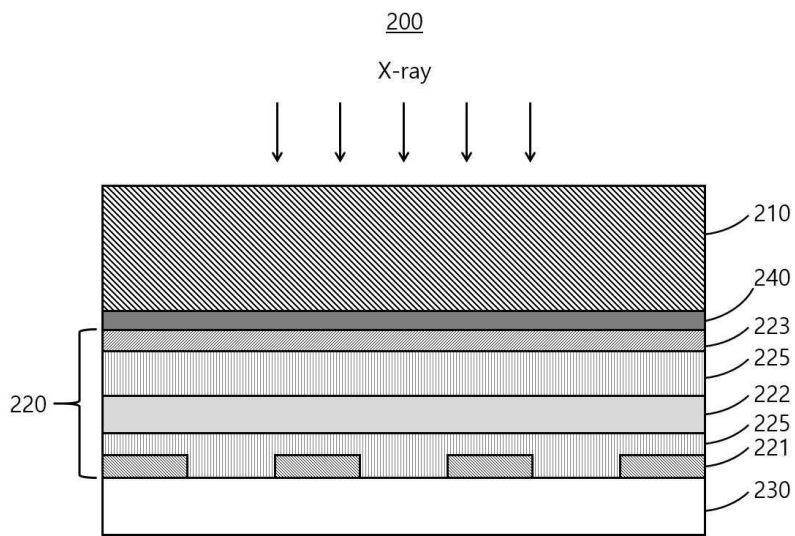
도면8



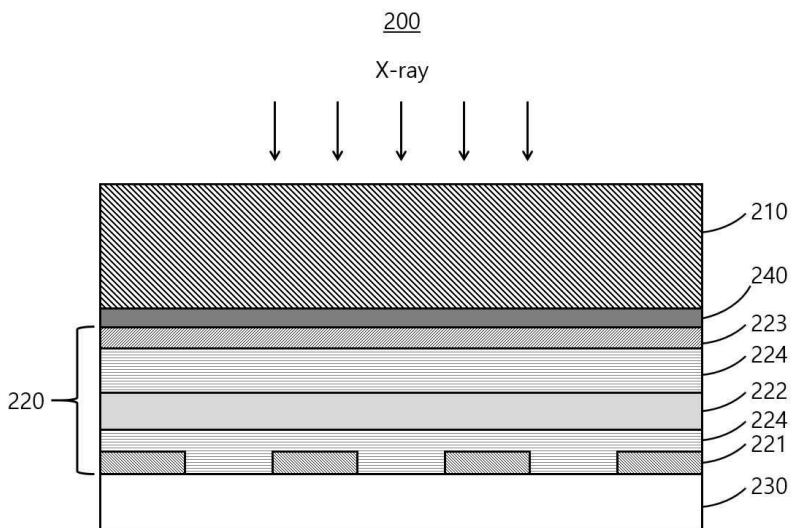
도면9



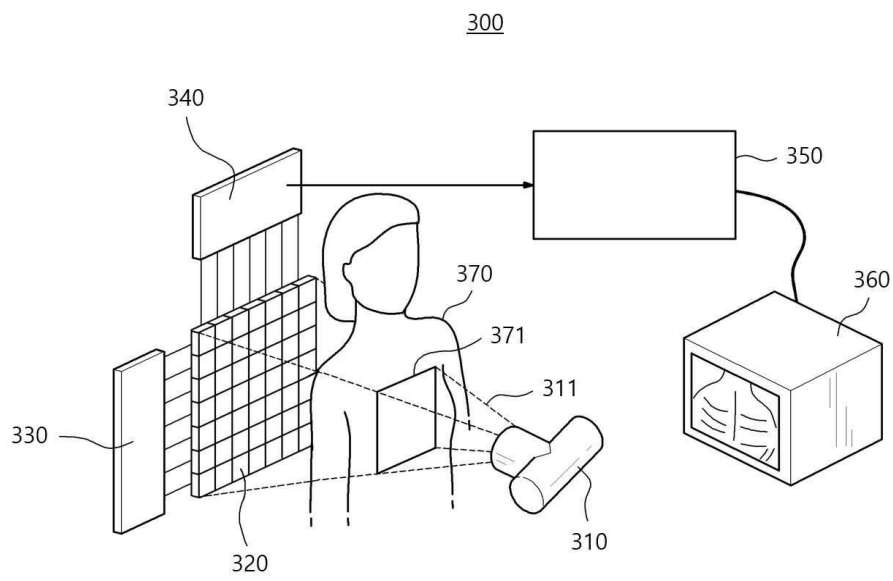
도면10



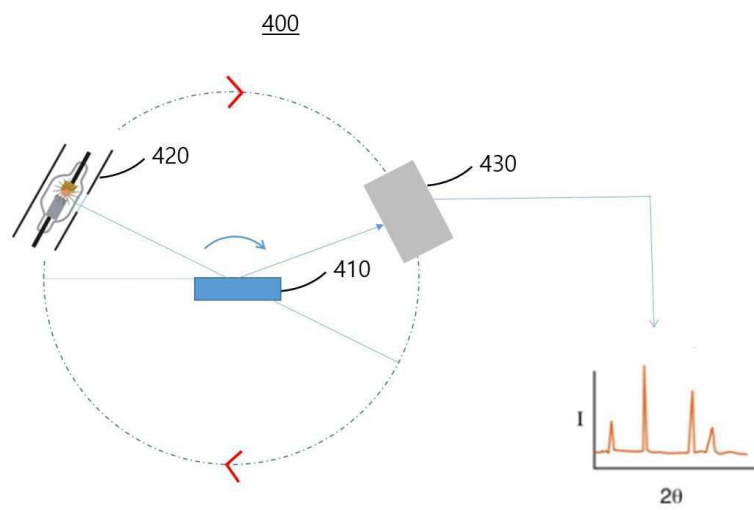
도면11



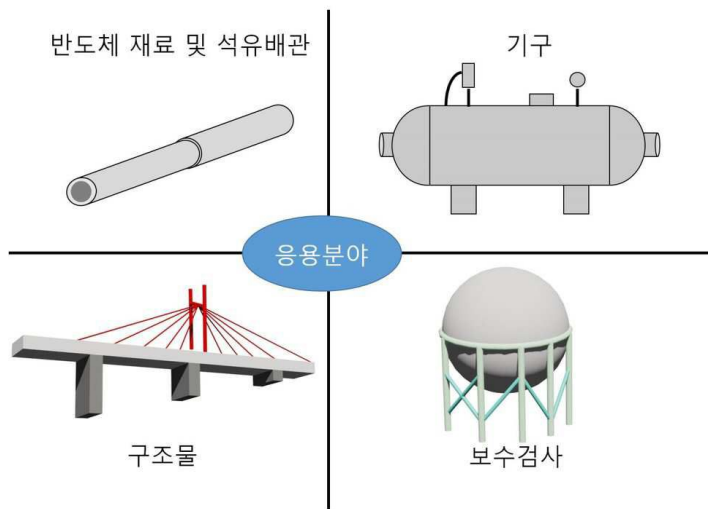
도면12



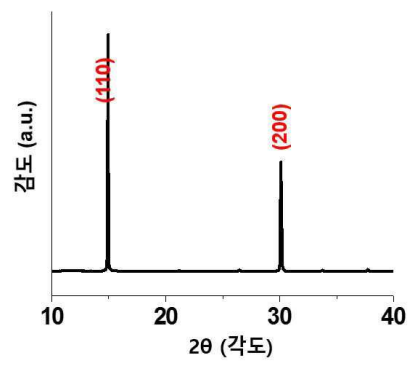
도면13



도면14



도면15



도면16

