



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년03월11일

(11) 등록번호 10-1501455

(24) 등록일자 2015년03월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 27/14 (2006.01) G01T 1/24 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0027683

(22) 출원일자 2013년03월15일

심사청구일자 2013년03월15일

(65) 공개번호 10-2014-0112953

(43) 공개일자 2014년09월24일

(56) 선행기술조사문헌

논문:Mark D.Hammig외 1인, 'Fabrication Methods by which the Intrinsic Noise is Reduced in Si and CZT Nuclear Radiation Detectors', IEEE, Nuclear Science Symposium Conference Record, 2011.10.23-29.356-362면

(73) 특허권자

한국원자력연구원

대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)

(72) 발명자

정만희

인천 부평구 굴포로 81, 101동 1501호 (갈산동, 주공1단지아파트)

하장호

전북 전주시 완산구 세내로 239, 104동 1303호 (효자동2가, 포스코더샵아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 웰-엘엔케이

전체 청구항 수 : 총 2 항

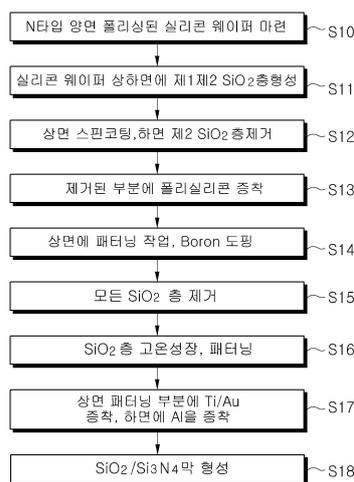
심사관 : 박성호

(54) 발명의 명칭 실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 에지 검출 기반의 방사선 검출방법

(57) 요약

실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 에지 검출 기반의 방사선 검출방법에 관한 것으로, (a) 실리콘 웨이퍼 상하면에 각각 제1 및 제2 SiO₂층을 형성하는 단계, (b) 상기 실리콘 웨이퍼 상면의 제1 SiO₂층을 스펠 코팅하고, 실리콘 웨이퍼 하면의 제2 SiO₂층을 제거해서 폴리 실리콘을 증착하는 단계, (c) 상기 실리콘 웨이퍼 상면에 패터닝 작업을 하고 보론을 도핑하는 단계 및 (d) 상기 실리콘 웨이퍼 상면의 패터닝 부분에 캐소드 전극을 형성하고, 실리콘 웨이퍼의 하면에 애노드 전극을 형성하는 단계를 포함하는 구성을 마련하여, 통상의 실리콘 센서 제조방식을 이용해서 1mm 이상의 두께를 가지도록 제조된 실리콘 방사선 센서와 같이, 포토 피크 비율이 낮은 저 순도의 센서를 이용하더라도 컴프턴 에지 검출 방식을 이용해서 고에너지 감마선원의 종류를 용이하게 판별할 수 있다는 효과가 얻어진다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김한수

전라북도 정읍시 금구길 29 한국원자력연구원 첨단
방사선연구소

김영수

대전 유성구 어은로 57, 113동 1002호 (어은동, 한
빛아파트)

특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

(a) 실리콘 웨이퍼의 하면과 상면에 각각 게더링 층과 금속 필드 플레이트를 가지는 전극구조로 구성되고 표면상의 누설전류를 최소화도록 다수의 가드링 구조를 가지며 감마선원을 흡수해서 발생한 산란선 에너지 정보를 이용하도록 미리 설정된 두께 이상으로 제조되는 방사선 센서를 이용해서 감마선원의 에너지 스펙트럼을 분석하는 단계,

(b) 상기 (a)단계에서 분석된 에너지 스펙트럼을 미분하여 컴프턴 에지의 에너지 정보를 검출하는 단계,

(c) 상기 (b)단계에서 검출된 컴프턴 에지의 에너지 정보를 이용해 감마선원의 종류를 판별하는 단계 및

(d) 상기 감마선원이 서로 다른 에너지를 갖는 복수인 경우, 각 감마선원의 컴프턴 에지 피크를 이용해서 각 감마선원의 종류를 판별하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 에지 기반의 방사선 검출방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

(d) 상기 감마선원이 서로 다른 에너지를 갖는 복수인 경우, 각 감마선원의 컴프턴 에지 피크를 이용해서 각 감마선원의 종류를 판별하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 에지 검출 기반의 방사선 검출방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 상온에서 고에너지 감마선원을 검출하는 실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 예지 검출 기반의 방사선 검출방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 감마선원의 에너지를 판별하기 위해 사용되는 에너지 스펙트럼 분석방법은 전체 흡수 에너지에 해당하는 피크 값을 이용하여 감마선원의 종류와 에너지를 판별한다.

[0003] 감마선원은 물질과의 상호작용 시 투과 정도가 다른 방사선 선원보다 상대적으로 깊고, 방사선 센서의 누설전류 때문에 상온에서의 동작에 제약이 있다. 이에 따라, 종래기술에 따른 감마선원의 에너지를 판별하기 위해 에너지 스펙트럼 분석방법에 사용되는 방사선 검출기는 높은 원자번호를 가지는 물질, 즉 복합화합물 반도체인 CZT, HgI₂, TlBr 등의 재료를 이용해서 제조된다.

[0004] 그러나, 상기한 바와 같은 복합 화합물 반도체를 이용하여 방사선 검출기를 구현하기 위해서는 정제 및 단결정 성장에 많은 시간 및 비용이 소요됨에 따라 시간적인 제약, 고비용 등의 문제점이 있었다.

[0005] 또한 상온에서 고에너지 감마선원을 검출하기 위해서 사용되는 게르마늄 디텍터는 외부의 쿨링 시스템을 필요로 함에 따라, 제품의 구성이 복잡해지고, 제조비용이 상승하는 문제점이 있었다.

[0006] 이러한 문제점을 해결하기 위해, 최근에는 저에너지 검출기로 사용되고 전통적인 반도체 공정 라인을 쉽게 사용할 수 있는 실리콘을 이용해서 고에너지 감마선원을 측정하는 기술이 개발되고 있다.

[0007] 하기의 특허문헌 1 내지 3에는 실리콘을 이용해서 방사선 검출기를 제조하는 기술의 일 예가 개시되어 있다.

[0008] 특허문헌 1에는 PIN형 반도체 검출기의 p+층의 도핑농도와 열처리에 의한 불순물 재분포 및 절단면에서의 가드링(guard ring) 효과를 전산모사하여 그에 따른 최적의 검출기 구조선별에 따른 제조 방법을 제공하는 기술이 기재되어 있다.

[0009] 특허문헌 2에는 PIN 다이오드 구조를 통해 방사선을 검출하며, 구동전압을 편리하게 인가하기 위해 링 형상으로 바이어스 전극용 금속부를 형성하고, MIS 캐패시터 구조를 만들며, 센서의 특성을 개선하기 위해 감지영역을 감싸는 가드링 구조와 N형 스트립 간의 전기적 쇼트를 방지하는 방사선 검출용 센서 기술이 기재되어 있다.

[0010] 특허문헌 3에는 140~800 μm 두께의 실리콘 기판층의 표면 내에 pn 접합층부를 포위하고 공핍층이 기판층의 표면에 이어서 넓어지는 것을 방지하는 채널 스톱퍼를 구비하는 반도체 방사선 검출기 기술이 기재되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 대한민국 특허 등록번호 제10-0458277호(2004년 11월 26일 공고)
- (특허문헌 0002) 대한민국 특허 등록번호 제10-1016070호(2011년 2월 17일 공고)
- (특허문헌 0003) 미국 특허 번호 US 4879466(1989년 11월 7일 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 그러나, 특허문헌 1 내지 특허문헌 3에는 실리콘 기판의 두께가 250μm인 것으로 기재되어 있거나, 상세하게 기재되어 있지 않다.

[0013] 방사선 센서의 두께가 고에너지 감마선원이 충분히 흡수될 만큼 두껍지 않은 경우, 감마선원은 산란되어 검출기 밖으로 나가게 된다.

[0014] 종래기술에 따른 방사선 검출기는 고에너지 감마선원을 검출하는 과정에서 정확성이 저하될 수 있는 문제점이 있었다.

[0015] 본 발명의 목적은 상기한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 실리콘을 이용해서 고에너지 감마선원을

충분하게 흡수할 수 있는 두께를 갖도록 제조된 실리콘 방사선 센서를 이용해서 컴프턴 에지를 기반으로 감마선원의 종류를 판별하는 방사선 검출방법을 제공하는 것이다.

[0016] 삭제

과제의 해결 수단

[0017] 삭제

[0018] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 에지 검출 기반의 방사선 검출방법은 (a) 실리콘 방사선 센서를 이용해서 감마선원의 에너지 스펙트럼을 분석하는 단계, (b) 상기 (a)단계에서 분석된 에너지 스펙트럼을 미분하는 컴프턴 에지의 에너지 정보를 검출하는 단계 및 (c) 상기 (b)단계에서 검출된 컴프턴 에지의 에너지 정보를 이용해 감마선원의 종류를 판별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0019] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 에지 검출 기반의 방사선 검출방법은 통상의 실리콘 센서 제조방식을 이용해서 1mm 이상의 두께를 가지도록 제조된 실리콘 방사선 센서와 같이, 포토 피크 비율이 낮은 저 순도의 센서를 이용하더라도 컴프턴 에지 검출 방식을 이용해서 고에너지 감마선원의 종류를 용이하게 판별할 수 있다는 효과가 얻어진다.

[0020] 삭제

[0021] 삭제

[0022] 이와 함께, 종래의 실리콘 방사선 센서의 목적인 고에너지 알파선원과 이온 검출용 센서로 활용할 수 있다는 효과가 얻어진다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시 예에 적용되는 실리콘 방사선 센서의 제조방법을 단계별로 설명하는 공정도, 도 2 내지 도 9는 도 1에 도시된 제조방법에 따른 실리콘 방사선 센서의 제조 과정을 설명하기 위한 공정 단면도, 도 10은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 에지 검출 기반의 방사선 검출방법을 단계별로 설명하는 공정도, 도 11 내지 도 13은 실리콘 방사선 센서를 이용해서 여러 감마선원의 에너지 스펙트럼을 분석한 결과 그래프, 도 14 내지 도 16은 각각 도 11 내지 도 13에 도시된 에너지 스펙트럼 분석 그래프에서 얻어진 데이터를 미분한 그래프, 도 17는 Cs-137과 Na-22 감마선원의 에너지 스펙트럼 분석 그래프, 도 18은 도 17에 도시된 에너지 스펙트럼 분석 그래프를 미분한 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 에지 검출 기반의 방사선 검출방법을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0025] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시 예에 적용되는 실리콘 방사선 센서의 제조방법을 단계별로 설명하는 공정도이

고, 도 2 내지 도 9는 도 1에 도시된 제조방법에 따른 실리콘 방사선 센서의 제조 과정을 설명하기 위한 공정 단면도이다.

- [0026] 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 실리콘 방사선 센서는 주로 100keV 미만의 저에너지 감마선과 엑스선 검출 용으로 사용할 수 있도록 기존의 반도체 공정 라인을 이용해서 저비용으로 제조될 수 있다.
- [0027] 즉, 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 실리콘 방사선 센서의 제조방법은 도 1에 도시된 바와 같이, 약 10kΩ·cm 이상의 고유저항을 가지는 N 타입 양면 폴리싱 된 실리콘 웨이퍼(10)를 마련해서 공정을 시작한다(S10).
- [0028] 도 2에 도시된 바와 같이, 준비된 실리콘 웨이퍼(10)를 저압화학증기증착(Low Pressure Chemical Vapor Deposition, 이하 'LPCVD'라 함) 장비를 이용하여 실리콘 웨이퍼(10) 상하면에 각각 제1 및 제2 SiO₂ 층(11,12)을 형성한다(S11).
- [0029] 이때, 실리콘 웨이퍼(10)의 측면에는 가드링(guard-ring)(13)을 이루도록 SiO₂를 형성하고, 코팅해서 이후 공정을 진행하는 과정에서 손상을 방지한다.
- [0030] 도 3에 도시된 바와 같이, 포토 레지스트(photoresist)를 이용하여 실리콘 웨이퍼(10) 상면의 제1 SiO₂ 층(11)을 스핀 코팅을 한다.
- [0031] 그리고 코팅된 실리콘 웨이퍼(10)를 BHF 용액에 담궈 하면의 제2 SiO₂ 층(12)을 에칭해서 제거한다(S12).
- [0032] 이어서, 제거된 부분에 LPCVD를 이용해서 도 4에 도시된 바와 같이, 약 900 내지 1000℃, 바람직하게는 약 950℃에서 인(phosphorous, P)이 도핑된 폴리 실리콘을 증착한다(S13).
- [0033] 이와 같이, 폴리 실리콘이 증착된 면은 이후 고온의 공정과정에서 불순물이나 불필요한 이온 등을 제거하는 게터링(gettering) 층(20)으로 이용된다.
- [0034] 실리콘 웨이퍼(10)의 상면에 P+ 영역을 도핑하기 위한 포토 리소그래피(photolithography) 공정을 수행해서 패터닝 작업을 하고, 도 5에 도시된 바와 같이, 약 900 내지 1100℃, 바람직하게는 약 1000℃에서 보론(boron)을 도핑해서 보론 층(30)을 형성한다(S14).
- [0035] 그리고 도 6에 도시된 바와 같이, 사용된 모든 SiO₂ 층을 HF로 제거한다(S15).
- [0036] 이어서, 도 7에 도시된 바와 같이, 실리콘 웨이퍼(10)의 상면에 다시 제3 SiO₂ 층(14)을 고온 성장하여 포토 리소그래피를 이용해서 캐소드(cathode) 전극을 이루는 Ti/Au 층을 올리기 위한 패터닝 작업을 한다(S16).
- [0037] 도 8에 도시된 바와 같이, Sputter 장비를 이용하여 실리콘 웨이퍼(10)의 상면 패터닝 부분에 Ti/Au를 증착시켜 캐소드 전극(31)을 형성하고, 실리콘 웨이퍼(10)의 뒷면에 Al을 증착시켜 애노드 전극(anode)(32)을 형성하여 금속 필드 플레이트(metal field plate, 이하 'MPF'라 함)를 형성한다(S17).
- [0038] 마지막으로, 도 9에 도시된 바와 같이, 플라즈마 화학기상증착(Plasma-enhanced chemical vapor deposition, 이하 'PECVD'라 함) 장비를 이용하여 실리콘 웨이퍼 (10)의 상면에 보호막(33)으로 SiO₂/Si₃N₄ 막을 형성해서 수분 및 오염물질로부터 제조된 실리콘 방사선 센서를 보호한다(S18).
- [0039] 이와 같은 과정을 통하여 제조되는 실리콘 방사선 센서는 약 1mm 이상의 두께로 제조될 수 있다.
- [0040] 여기서, 실리콘 방사선 센서는 전공핍층을 만들기 위한 약 100V의 역전압 인가시 누설전류가 수십 nA 이내여야 하고, 전압붕괴가 발생해서는 안 된다.
- [0041] 이에 따라, 본 실시 예에서 실리콘 방사선 센서는 게터링 층(20)과 MPF를 가지는 전극구조의 형태로 제조된다.
- [0042] 또한 본 실시 예에서 실리콘 방사선 센서는 표면상의 누설전류를 최소화하기 위해 다수의 가드링(guard-ring) 구조를 가지도록 제조된다.
- [0043] 방사선 센서의 두께가 고에너지 감마선원이 충분히 흡수될 만큼 두껍지 않으면, 감마선원은 산란되어 검출기 밖으로 나가게 된다.
- [0044] 이때, 반응하지 않고 밖으로 나간 선원을 '컴프턴 산란선'이라 하고, 반응한 전자를 '컴프턴 전자'라고 한다.
- [0045] 컴프턴 전자가 흡수되어 에너지는 연속분포를 가지는데, 최대 에너지 값(E_{max})에 해당되는 부분이 '컴프턴 에

지'이다.

[0046] 컴프턴 에지는 하기의 수학적 식 1에 의해 산출된다.

수학적 식 1

$$E_e = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_0 C^2}{2E_\gamma}}$$

[0047]

[0048] 여기서, E_e 는 컴프턴 에지, E_γ 는 감마선 에너지, m_0 는 광자의 정지질량, C 는 광속도이다.

[0049] 본 발명은 실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 에지 기반으로 감마선원의 에너지 스펙트럼을 분석해서 감마선원의 종류 및 에너지를 판별한다.

[0050] 이어서, 도 10을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 실리콘 방사선 센서를 이용해서 컴프턴 에지 기반의 방사선 검출방법을 상세하게 설명한다.

[0051] 도 10은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 에지 검출 기반의 방사선 검출방법을 단계별로 설명하는 공정도이다.

[0052] 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 실리콘 방사선 센서를 이용한 컴프턴 에지 기반의 방사선 검출방법은 도 10에 도시된 바와 같이, 실리콘 방사선 센서를 이용해서 감마선원의 에너지 스펙트럼을 분석한다.

[0053] 분석된 결과는 도 11 내지 도 13에 도시된 바와 같다.

[0054] 도 11 내지 도 13은 실리콘 방사선 센서를 이용해서 여러 감마선원의 에너지 스펙트럼을 분석한 결과 그래프이다.

[0055] 도 11에는 Co-60 감마선원의 에너지 스펙트럼 분석 그래프가 도시되어 있고, 도 12에는 Cs-137 감마선원의 에너지 스펙트럼 분석 그래프가 도시되어 있으며, 도 13에는 Na-22 감마선원의 에너지 스펙트럼 분석 그래프가 도시되어 있다.

[0056] 에너지 스펙트럼 분석 그래프에서 얻어진 데이터를 이용해서 컴프턴 에지의 에너지 정보를 얻기 위해 분석된 에너지 스펙트럼을 미분하여(S21) 도 13 내지 도 15에 도시된 바와 같은 컴프턴 에지의 에너지 정보를 검출한다(S22).

[0057] 도 13 내지 도 15는 각각 도 11 내지 도 13에 도시된 에너지 스펙트럼 분석 그래프에서 얻어진 데이터를 미분한 그래프이다.

[0058] 한편, 컴프턴 에지를 검출하는 방법으로 감마선원을 판별하는 경우, 여러 감마선원이 동시에 들어왔을 때 감마선원 종류를 판별할 수 있어야 한다.

[0059] 예를 들어, 도 17은 Cs-137과 Na-22 감마선원의 에너지 스펙트럼 분석 그래프이고, 도 18은 도 17에 도시된 에너지 스펙트럼 분석 그래프를 미분한 그래프이다.

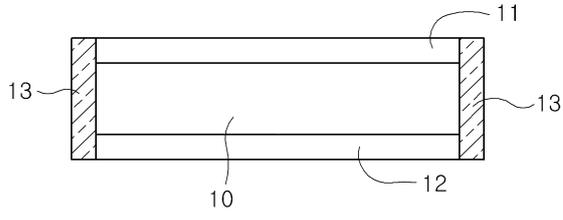
[0060] 이를 위해, 본 발명 실시 예에서는 도 17 및 도 18에 도시된 바와 같이, 두 종류의 에너지가 다른 감마선원이 입사되는 경우, 서로 다른 연속된 에너지 스펙트럼이 누적되고, 각 감마선원 고유의 컴프턴 에지가 존재한다.

[0061] 이에 따라, 본 발명은 서로 다른 에너지의 감마선원이 입사되는 경우, 각 감마선원의 컴프턴 에지 피크를 찾아내서 각 감마선원의 종류를 판별할 수 있다(S23).

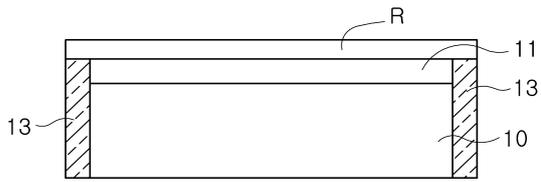
[0062] 이상 본 발명자에 의해서 이루어진 발명을 상기 실시 예에 따라 구체적으로 설명하였지만, 본 발명은 상기 실시 예에 한정되는 것은 아니고 그 요지를 이탈하지 않는 범위에서 여러 가지로 변경 가능한 것은 물론이다.

산업상 이용가능성

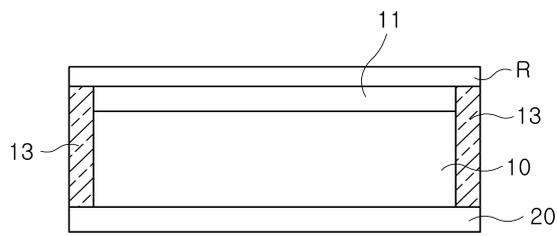
도면2



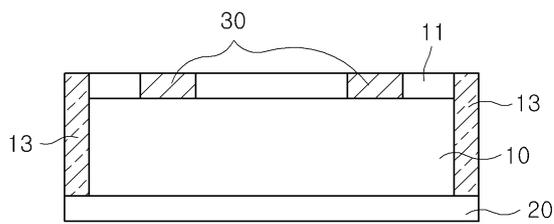
도면3



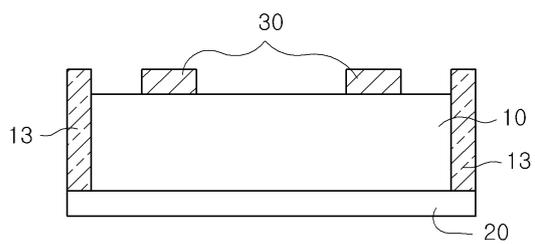
도면4



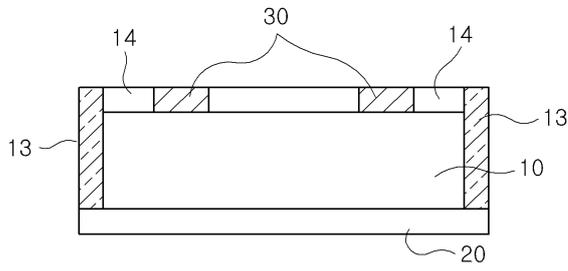
도면5



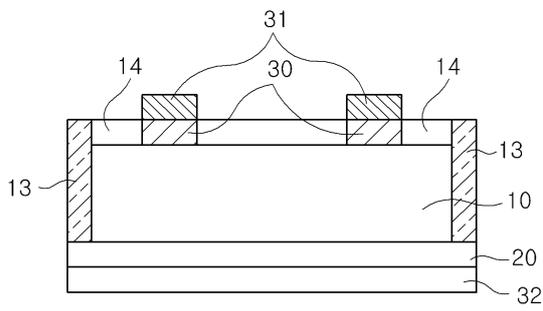
도면6



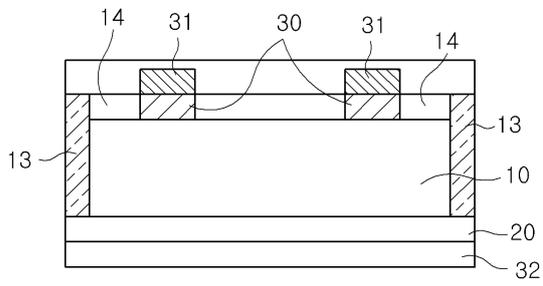
도면7



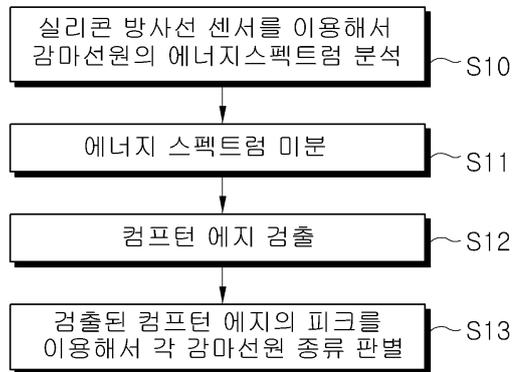
도면8



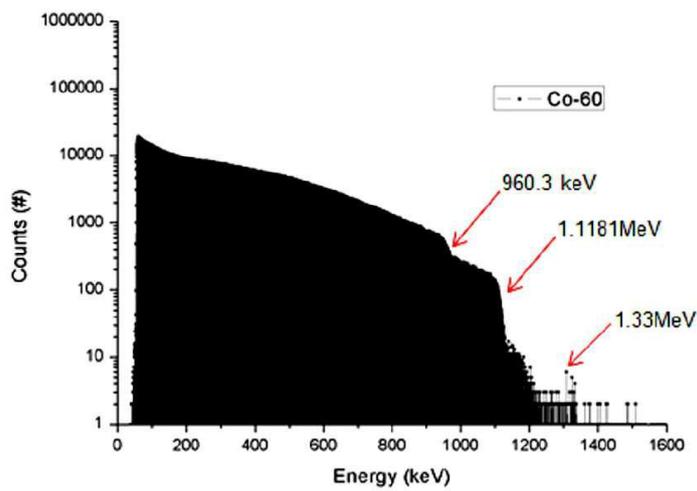
도면9



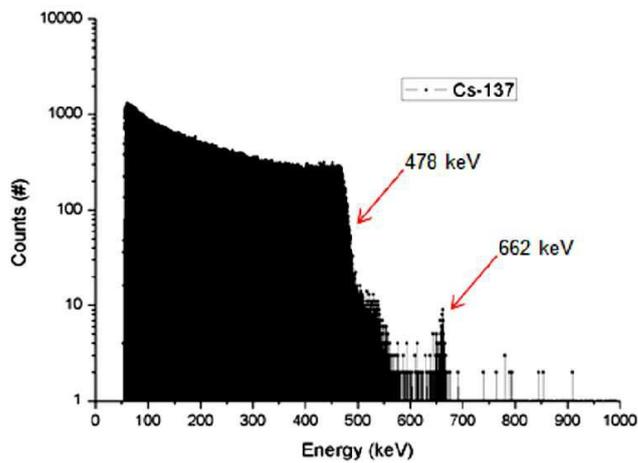
도면10



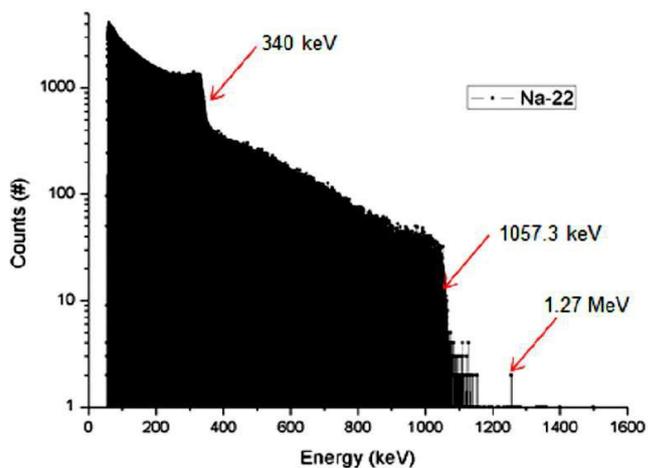
도면11



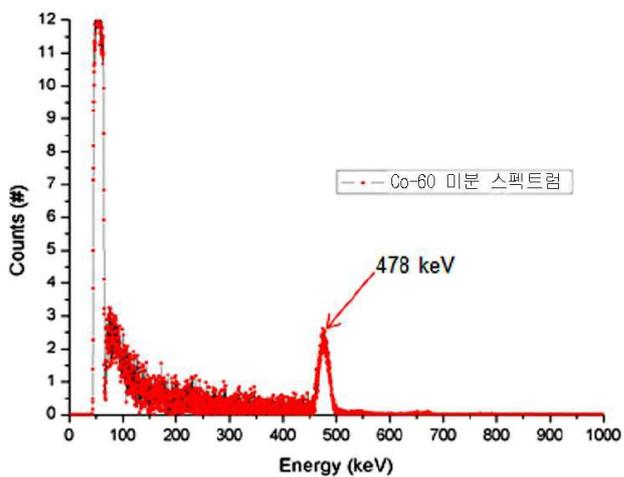
도면12



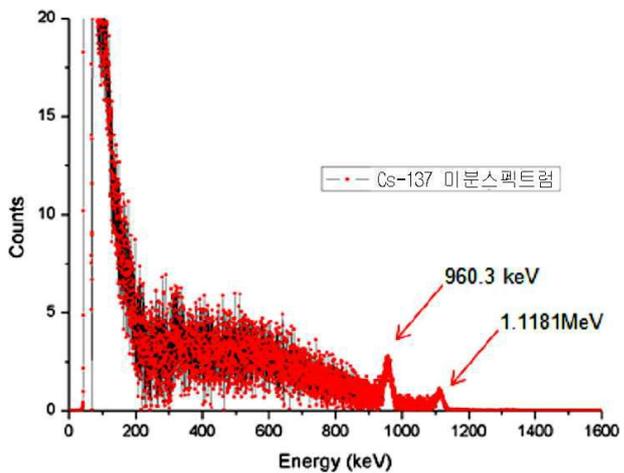
도면13



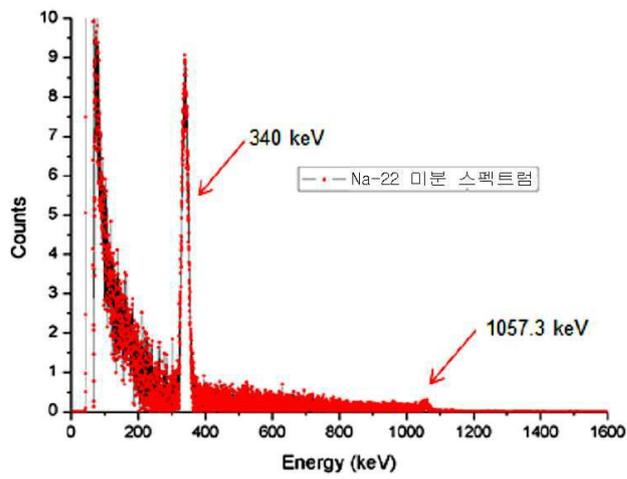
도면14



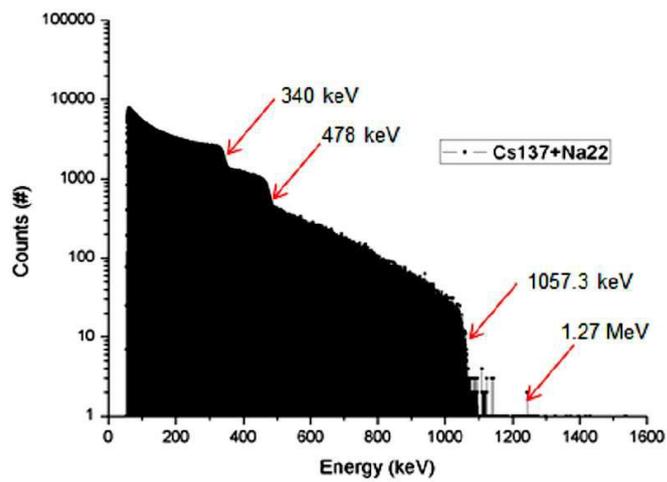
도면15



도면16



도면17



도면18

