



- (51) 국제특허분류:
A61B 6/00 (2006.01) A61B 6/12 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2012/000809
- (22) 국제출원일: 2012년 2월 2일 (02.02.2012)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2011-0033085 2011년 4월 11일 (11.04.2011) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): **한양대학교 산학협력단 (INDUSTRY-UNIVERSITY CO-OPERATION FOUNDATION HANYANG UNIVERSITY)** [KR/KR]; 서울 성동구 행당동 17 한양대학교 내, 133-070 Seoul (KR).
- (72) 발명자; 겸
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): **김찬형 (KIM, Chan-Hyeong)** [KR/KR]; 서울 도봉구 도봉 2동 양우아파트 101동 707호, 132-012 Seoul (KR). **박진형 (PARK, Jin-Hyung)** [KR/KR]; 서울 성동구 행당동 1-112 305호, 133-070 Seoul (KR). **서희 (SEO, Hee)** [KR/KR]; 경기도 평택시 신장 2동 266, 459-122 Gyeonggi-do (KR).

(74) 대리인: **유병욱 (YOO, Byung-Wook)** 등; 서울 강남구 역삼동 831-37 건암빌딩 302호, 135-080 Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

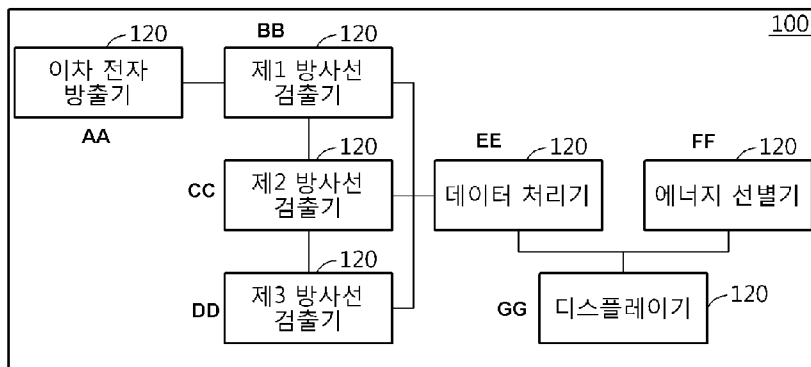
(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[다음 쪽 계속]

(54) Title: GAMMA RAY DETECTION APPARATUS AND METHOD FOR DETECTING GAMMA RAYS USING SAME

(54) 발명의 명칭 : 감마선 검출 장치 및 이를 이용한 감마선 검출 방법

[Fig. 1]



AA ... Secondary electron emitter
BB ... First radiation detector
CC ... Second radiation detector
DD ... Third radiation detector
EE ... Data processor
FF ... Energy sorter
GG ... Display

(57) Abstract: The present invention relates to a gamma ray detection apparatus and to a method for detecting gamma rays. The gamma ray detection apparatus includes: a secondary electron emitter which causes a Compton scattering reaction with an incident gamma ray to generate secondary electrons in the traveling direction of the gamma ray; a first radiation detector facing the emission traveling direction of the secondary electrons, wherein the first radiation detector detects the positions and transfer energy of the secondary electrons; a second radiation detector facing the emission traveling direction of the secondary electrons and the first radiation detector, wherein the second radiation detector detects the positions and transfer energy of the secondary electrons passing through the first radiation detector; a third radiation detector facing the emission traveling direction of the secondary electrons and the second radiation detector, wherein the third radiation detector absorbs the secondary electrons passing through the second radiation detector to detect the remaining energy of the secondary electrons; and a data processor including a coincidence counting circuit for determining the coincidental reaction of the secondary electrons in the first to third radiation detectors. Thus, the gamma ray detection apparatus may detect the position of a source of gamma rays by reversely tracing the secondary electrons detected in the first and second radiation detectors through the data processor.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]

**공개:**

- 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

입사된 감마선과 콤프턴 산란 반응을 일으켜 상기 감마선의 진행 방향으로 이차 전자를 발생시키는 이차 전자 방출기, 상기 이차 전자의 방출 진행 방향에 대향되고, 상기 이차 전자의 위치 및 전달에너지를 검출하는 제 1 방사선 검출기, 상기 이차 전자의 방출 진행 방향 및 상기 제 1 방사선 검출기에 대향되며, 상기 제 1 방사선 검출기를 통과한 상기 이차 전자의 위치 및 전달에너지를 검출하는 제 2 방사선 검출기, 상기 이차 전자의 방출 진행 방향 및 상기 제 2 방사선 검출기에 대향되고, 상기 제 2 방사선 검출기를 통과한 상기 이차 전자를 흡수하여 상기 이차 전자의 잔여에너지를 검출하는 제 3 방사선 검출기, 및 상기 제 1 내지 제 3 방사선 검출기에서 상기 이차 전자의 동시 반응여부를 판단하는 동시계수회로를 구비한 데이터 처리기를 통해 상기 제 1 및 제 2 방사선 검출기에서 검출된 상기 이차 전자의 궤적을 역으로 추적하여 상기 감마선의 선원의 위치를 검출하는 감마선 검출 장치 및 감마선 검출 방법이 개시된다.

명세서

발명의 명칭: 감마선 검출 장치 및 이를 이용한 감마선 검출 방법 기술분야

- [1] 본 발명은 감마선 검출 장치 및 이를 이용한 감마선 검출 방법에 관한 것으로서, 보다 자세하게는 감마선원 또는 핵반응으로부터 방출된 감마선이 컴프턴 산란 반응을 하여 발생된 이차 전자의 궤적을 역으로 추적하여 감마선의 선원 위치 및 분포를 영상화하는 감마선 검출 장치 및 이를 이용한 감마선 검출 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로 방사선을 이용한 암 치료에 있어서 암 조직에만 국한적으로 방사선 에너지를 전달하여 암 세포를 폐사시키고 주변의 정상 조직에는 피해가 가지 않도록 하는 것이 중요하다. 종래의 방사선 치료는 광자선 또는 전자선을 이용하기 때문에 암 조직에 제한적으로 선량을 가하는 것에 어려움이 있었다.
- [3] 한편, 양성자를 이용하여 암 치료를 하는 경우에는, 브래그 피크(Bragg Peak)라는 독특한 에너지 전달 특성으로 인해 원하는 부위에 선량을 집중시킬 수 있고 주변의 정상조직의 피해는 최소화할 수 있게 되었다.
- [4] 하지만, 현재까지 치료 중에 실시간으로 환자 체내에서의 브래그 피크 위치를 정확하게 결정하는 기술은 마련되어 있지 않으며, 이로 인하여 양성자와 타겟 물질과의 반응에 의해 발생하는 즉발 감마선(prompt gamma-ray)의 분포를 통해 브래그 피크의 위치를 유추하는 기술이 각광받고 있다.
- [5] 상기의 브래그 피크의 위치를 유추하기 위하여 집속 장치 및 위치 민감형 방사선 검출기로 구성된 감마선 방출 영상 장치를 이용하는데, 이는 방사선 선원에서 방출된 감마선이 집속 장치를 통과한 후 위치 민감형 방사선 검출기에서 반응을 일으키면 이 때 발생한 데이터를 획득하여 방사선 선원의 분포를 영상화한다.
- [6] 그러나, 이러한 기존의 감마선 방출 영상 장치는 여러 가지 문제점들을 가지고 있다. 기존의 감마선 방출 영상 장치는 집속 장치에 의해서 대부분의 감마선이 제거되기 때문에 높은 영상 감도를 획득하기 어렵다. 또한, 감마선은 투과성이 높고 반응 확률이 낮기 때문에 감마선을 직접 검출하는 경우에는 높은 영상 감도를 기대하기 어렵다. 종래의 감마선 방출 영상 장치는 영상 해상도 및 영상 감도가 집속 장치의 구조에 의존하게 되며 서로 상충적인 특징을 갖기 때문에 독립적으로 영상 해상도 또는 영상 감도를 향상시킬 수 없는 제한이 있다.
- [7] 뿐만 아니라 감마선의 에너지가 높아지면 집속 장치의 성능이 급격하게 저하되면서 영상 해상도가 저하되는 문제가 있다. 이로 인해 상기 방식의 종래 영상장치는 대체적으로 1MeV 이하의 감마선에 대해서만 적용할 수 있다는 한계가 있다.

- [8] 또한, 감마선이 방출되는 선원에 대한 영상을 3차원으로 획득하기 위해서는 감마선을 계측하는 계측 시스템을 원형으로 배치하거나 회전을 시키면서 대상체를 스캔하여야 하기 때문에 장치를 소형화하는데 한계가 있고 제작 비용도 고가인 문제가 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [9] 본 발명은 감마선의 선원을 검출하는데 있어서, 감마선을 일차적으로 전자로 변환시킨 후 이와 같이 발생된 이차 전자를 이용하여 간접적으로 감마선원의 위치와 분포를 검출할 수 있는 감마선 검출 장치 및 이를 이용한 감마선 검출 방법을 제공한다.
- [10] 본 발명은 고에너지 감마선을 방출하는 감마선원에 대한 영상 해상도를 높일 수 있고 측정 효율을 향상시킬 수 있는 감마선 검출 장치 및 이를 이용한 감마선 검출 방법을 제공한다.
- [11] 본 발명은 고정된 위치에서 감마선원의 위치 및 분포를 3차원적으로 획득할 수 있는 감마선 검출 장치 및 이를 이용한 감마선 검출 방법을 제공한다.
- [12] 본 발명은 감마선원의 영상을 획득하기 위한 장치의 소형화 및 경량화가 가능한 감마선 검출 장치 및 이를 이용한 감마선 검출 방법을 제공한다.

과제 해결 수단

- [13] 상기한 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치는, 입사된 감마선과 컴프턴 산란 반응을 일으켜 상기 감마선의 진행 방향으로 이차 전자를 방출시키는 이차 전자 방출기; 상기 이차 전자의 방출 진행 방향에 대해 상기 이차 전자 방출기와 대향되도록 구비되고, 상기 이차 전자의 위치 및 전달에너지를 검출하는 제1 방사선 검출기; 상기 이차 전자의 방출 진행 방향에 대해 상기 제1 방사선 검출기와 대향되도록 구비되고, 상기 제1 방사선 검출기를 통과한 상기 이차 전자의 위치 및 전달에너지를 검출하는 제2 방사선 검출기; 상기 이차 전자의 방출 진행 방향에 대해 상기 제2 방사선 검출기와 대향되도록 구비되고, 상기 제2 방사선 검출기를 통과한 상기 이차 전자를 흡수하여 상기 이차 전자의 잔여 에너지를 검출하는 제3 방사선 검출기; 및 상기 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 상기 이차 전자의 동시 반응여부를 판단하는 동시계수회로를 구비한 데이터 처리기; 를 포함하고, 상기 데이터 처리기는, 상기 제1 및 제2 방사선 검출기에서 검출된 상기 이차 전자의 궤적을 역으로 추적하여 상기 감마선의 선원의 위치를 검출할 수 있다.
- [14] 상기 제1 방사선 검출기 또는 상기 제2 방사선 검출기는 복수의 이차 전자의 위치를 검출하고, 상기 데이터 처리기는 이차 전자의 위치를 연결한 선의 교점으로부터 감마선의 선원을 검출할 수 있다.
- [15] 상기 이차 전자 방출기는 상기 이차 전자가 직선 궤적을 유지하며 상기 이차 전자 방출기에서 방출되도록 액화 헬륨, 베릴륨 또는 증류수 중 어느 하나의

물질로 형성될 수 있다.

- [16] 상기 제1 방사선 검출기 또는 상기 제2 방사선 검출기는 상기 이차 전자 방출기에서 방출된 상기 이차 전자가 상기 제1 방사선 검출기 또는 상기 제2 방사선 검출기를 통과하는 동안 직선 궤적을 유지하도록 원자번호가 작거나 밀도가 낮은 물질로 형성될 수 있다.
- [17] 상기 제1 방사선 검출기 또는 상기 제2 방사선 검출기는 양면 실리콘 스트립 타입으로 형성될 수 있다.
- [18] 상기 제1 및 제2 방사선 검출기의 간격은 상기 제2 및 제3 방사선 검출기 간격보다 크게 형성될 수 있다. 즉, 제1 및 제2 방사선 검출기 사이의 간격은 충분히 커야 하고, 제2 방사선 검출기를 통과한 이차 전자를 효율적으로 측정할 수 있도록 제2 및 제3 방사선 검출기 사이의 간격은 최소로 하는 것이 바람직하다
- [19] 상기 제3 방사선 검출기의 두께는 상기 제1 방사선 검출기 또는 상기 제2 방사선 검출기의 두께보다 크게 형성될 수 있다. 제3 방사선 검출기는 충분히 두껍게 형성되는 것이 바람직한데, 이는 제2 방사선 검출기를 통과해서 나오는 이차 전자의 에너지를 정확하게 결정하기 위하여 제3 방사선 검출기 내부에서 이차 전자가 흡수되는 과정에서 발생하는 모든 이차 전자 및 엑스선을 자체적으로 흡수할 수 있어야 하기 때문이다.
- [20] 상기 감마선 검출 장치는 상기 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 검출된 이차 전자의 에너지를 합하고, 합한 에너지가 설정된 기준 에너지 범위에 포함되는지 여부를 판단하는 에너지 선별기를 포함할 수 있다. 상기 선별기에 의하여 검출된 데이터가 감마선원의 위치를 3차원 영상으로 획득할 수 있는 유효한 데이터인지 여부를 판단할 수 있다.
- [21] 한편, 상기 감마선 검출 장치를 이용한 감마선 검출 방법에 있어서, (a) 상기 이차 전자 방출기에 입사된 상기 감마선과 콤프턴 산란 반응을 일으키고, 상기 감마선의 진행 방향과 동일한 방향으로 상기 이차 전자를 방출시키는 단계; (b) 상기 이차 전자가 상기 제1 방사선 검출기를 통과하는 시점의 상기 이차 전자의 위치 및 전달에너지를 검출하는 단계; (c) 상기 이차 전자가 상기 제2 방사선 검출기를 통과하는 시점의 상기 이차 전자의 위치 및 전달에너지를 검출하는 단계; (d) 상기 이차 전자가 상기 제3 방사선 검출기에 흡수되는 시점의 상기 이차 전자의 잔여에너지를 검출하는 단계; (e) 상기 데이터 처리기를 이용하여 상기 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 동시에 검출된 상기 이차 전자의 데이터를 검출하는 단계; (f) 상기 제1 및 제2 방사선 검출기에서 검출된 상기 이차 전자의 궤적을 역으로 추적하여 상기 감마선의 선원 위치를 검출하는 단계; 및 (g) 상기 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 검출된 상기 이차 전자의 에너지 합이 설정된 기준 에너지 범위에 포함되는 데이터를 영상으로 획득하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [22] 상기 (b) 단계는 복수의 상기 이차 전자가 상기 제1 방사선 검출기를 통과하는

위치 Pa1, 위치 Pb1 및 상기 위치 Pa1, 위치 Pb1를 통과하는 당시의 상기 이차 전자(70)가 전달한 에너지 Ea1, 에너지 Eb1를 측정하는 단계를 포함하며, 상기 (c) 단계는 상기 제1 방사선 검출기를 통과한 상기 이차 전자가 상기 제2 방사선 검출기를 통과하는 위치 Pa2, 위치 Pb2 및 상기 위치 Pa2, Pb2를 통과하는 당시의 상기 이차 전자가 전달한 에너지 Ea2, 에너지 Eb2를 측정하는 단계를 포함할 수 있다.

- [23] 상기 (f) 단계에서 측정된 위치 Pa1 및 위치 Pa2를 연결한 궤적과 위치 Pb1 및 위치 Pb2를 연결한 궤적을 역 투사하여, 2개의 궤적이 서로 교차된 지점을 상기 감마선의 3차원적 선원 위치라고 판단할 수 있다.
- [24] 상기 (e) 단계는, 동시계수회로를 이용하여 상기 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 동시에 검출된 이차 전자의 데이터를 선택할 수 있다. 이는, 제1 및 제2 방사선 검출기는 매우 얇은 검출기를 사용하기 때문에 비하전입자가 동시에 두 개의 검출기와 동시에 직접 반응하는 경우는 매우 드물 것이고, 이와 동시에 동시계수를 만족하는 경우는 대부분이 하전입자에 의한 것이라고 판단할 수 있기 때문이다.
- [25] 상기 (e) 단계는, 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 검출된 상기 이차 전자의 에너지 합이 설정된 기준 에너지 범위에 포함되는 데이터를 선택할 수 있다.
- [26] 상기 (e) 단계는, 상기 제1 방사선 검출기(130) 및 제2 방사선 검출기(140)에 전달된 상기 이차 전자(70)의 에너지가 설정된 각각의 기준 에너지 범위에 포함되는 데이터를 선택할 수 있다. 상기와 같이 기준 에너지 범위에 포함되는 데이터를 선택하기 때문에 기준 에너지에 포함되는 데이터는 유효한 반응이라고 간주하고 나머지는 효과적으로 제거할 수 있다.

발명의 효과

- [27] 이상 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 감마선 검출 장치 및 감마선 검출 방법에 있어서, 감마선과 반응하여 발생된 이차 전자의 방출 궤적을 역으로 추적하여 감마선원의 위치를 간접적으로 검출하기 때문에 검출 효율을 높일 수 있고, 고에너지 감마선원에 대한 영상 해상도를 향상시킬 수 있다.
- [28] 본 발명에 따른 감마선 검출 장치 및 감마선 검출 방법은 고정된 위치에서 3차원적으로 감마선원의 위치 및 분포를 영상화할 수 있고, 감마선원을 검출하기 위한 장치를 소형화 및 경량화하여 장치를 사용하는 사용자의 편의를 높일 수 있다.
- [29] 본 발명에 따른 감마선 검출 장치 및 감마선 검출 방법은 에너지 선별기를 적용하기 때문에 노이즈를 최소화할 수 있다.
- [30] 본 발명에 따른 감마선 검출 장치 및 감마선 검출방법은 고에너지를 가지는 감마선을 방출하는 방사성 동위원소의 영상화에 적용할 수도 있다.

도면의 간단한 설명

- [31] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치를 개략적으로 도시한

블록도이다.

[32] 도 2는 본 발명의 일 실시예의 감마선 검출 장치를 개략적으로 도시한 도면이다.

[33] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 방법을 설명하는 순서도이다.

[34] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치를 이용하여 양성자 빔의 비정을 실험한 결과를 보여주는 도면이다.

발명의 실시를 위한 형태

[35] 이하에서, 본 발명에 따른 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[36] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치를 개략적으로 도시한 블록도, 도 2는 본 발명의 일 실시예의 감마선 검출 장치를 개략적으로 도시한 도면, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 방법을 설명하는 순서도, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치를 이용하여 양성자 빔의 비정을 실험한 결과를 보여주는 도면이다.

[37] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치(100)는 감마선(55)의 선원(50)의 위치를 검출할 수 있는 각종 장비와 각 장비에서 검출되는 감마선(55)의 선원(50)의 위치와 분포를 영상으로 디스플레이하는 디스플레이기(180)를 포함할 수 있다.

[38] 상기 감마선(55)의 선원(50)의 위치를 검출할 수 있는 각종 장비에 대해 보다 자세하게 살펴보면, 감마선원(50)에서 방출된 감마선(55)은 이차 전자 방출기(120)를 통과한다. 상기 이차 전자 방출기(120)는 입사된 감마선(55)과 반응하여 이차 전자(70)를 발생시키는 물질로 형성되며, 감마선(55)의 선원(50)에서 발생된 감마선(55)이 콤프턴 산란 반응을 일으켜 이차 전자(70)가 발생된다.

[39] 상기 이차 전자 방출기(120)는 고 에너지의 감마선(55)에 의해 이차 전자(70)가 보다 효율적으로 발생되도록 콤프턴 산란 반응이 상대적으로 잘 일어나는 원자 번호가 낮은 물질로 형성될 수 있다. 또한, 발생된 이차 전자(70)가 이차 전자 방출기(120) 내에서 궤적의 변화가 거의 없이 직선적으로 방출될 수 있도록 이차 전자 방출기(120)는 원자번호가 작고 밀도가 낮은 물질로 형성될 수 있다. 예시적으로 액화 헬륨, 베릴륨 또는 증류수 등으로 형성될 수 있으며, 이차 전자 방출기(120)는 상기 제시된 물질 이외에 감마선(55)과의 반응에서 이차 전자(70)가 발생할 수 있는 다른 물질로 대체될 수 있음은 물론이다.

[40] 한편, 이차 전자 방출기(120)에서 방출된 이차 전자(70)는 이차 전자(70)의 방출 진행 방향에 대해 이차 전자 방출기(120)와 대향되도록 구비되고, 이차 전자(70)의 위치 및 전달에너지를 검출하는 제1 방사선 검출기(130)를 통과한다. 여기서, 전달에너지는 제1 방사선 검출기(130)에 전달된 이차 전자(70)의

에너지이다.

- [41] 상기 제1 방사선 검출기(130)는 이차 전자 방출기(120)에서 방출된 이차 전자(70)의 궤적을 1차적으로 결정하게 되며, 이차 전자(70)의 궤적 변화를 최소화하기 위하여 매우 얇은 두께를 가지며 작은 원자번호와 낮은 밀도를 가지는 물질로 형성될 수 있다. 즉, 작은 원자번호와 낮은 밀도를 가지는 물질로 제1 방사선 검출기(130)를 형성함으로써 제1 방사선 검출기(130)를 통과하는 동안 또는 통과한 후 이차 전자(70)의 궤적이 최대한 직선을 유지할 수 있고 직선 궤적의 변화를 최소화할 수 있다.
- [42] 한편, 제1 방사선 검출기(130)를 통과한 이차 전자(70)는 제2 방사선 검출기(140)를 통과한다. 제2 방사선 검출기(140)는 이차 전자(70)의 방출 진행 방향에 대해 제1 방사선 검출기(130)에 대향되도록 구비될 수 있으며, 제1 방사선 검출기(130)를 통과한 이차 전자(70)의 위치 및 전달에너지를 검출한다.
- [43] 상기 제2 방사선 검출기(140)도 제1 방사선 검출기(130)에서 방출된 이차 전자(70)가 제2 방사선 검출기(140)를 통과하는 동안 직선 궤적 변화를 최소화할 수 있도록 얇은 두께를 가지며 작은 원자번호와 낮은 밀도를 가지는 물질로 형성될 수 있다. 제1 및 제2 방사선 검출기(130, 140)는 동일한 물질로 형성될 수 있지만, 발명의 조건에 따라서 서로 다른 물질로 형성될 수도 있다. 예를 들어, 제1 방사선 검출기(130) 및 제2 방사선 검출기(140)는 양면 실리콘 스트립 타입으로 형성될 수 있다.
- [44] 상기 제2 방사선 검출기(140)에서 방출된 이차 전자(70)는 제3 방사선 검출기(150)에서 흡수된다. 즉, 이차 전자(70)는 제1 방사선 검출기(130)와 제2 방사선 검출기(140)를 모두 통과한 후 최종적으로 제3 방사선 검출기(150)에서 완전히 흡수되어 멈추게 된다. 제3 방사선 검출기(150)는 제2 방사선 검출기(140)에서 방출된 이차 전자(70)의 잔여에너지를 모두 흡수함으로써, 이차 전자(70)를 제3 방사선 검출기(150) 내에서 정지시킬 뿐 아니라 흡수된 잔여에너지를 측정하여 추후 합 에너지선별기를 적용할 수도 있다.
- [45] 여기서, 제1 방사선 검출기(130) 및 제2 방사선 검출기(140)는 이차 전자(70)의 위치 및 전달에너지를 검출하는 반면, 제3 방사선 검출기(150)는 이차 전자(70)의 잔여에너지만을 검출하는 차이가 있다.
- [46] 이때, 제1 및 제2 방사선 검출기(130, 140) 사이의 간격(D1)은 제2 및 제3 방사선 검출기(140, 150) 사이의 간격(D2)보다 크게 형성되는 것이 바람직하다. 도 2에 도시된 바와 같이, 제1 및 제2 방사선 검출기(130, 140)에서 검출된 이차 전자(70)의 위치를 역으로 추적하여 이차 전자(70)의 직선적인 궤적을 보다 정확하게 결정할 수 있도록 상기 제1 및 제2 방사선 검출기(130, 140)의 간격(D1)은 충분한 거리만큼 이격되는 것이 바람직하다.
- [47] 이에 반해, 제2 방사선 검출기(140)를 통과한 이차 전자(70)가 제3 방사선 검출기(150)로 모두 입사되어 완전히 흡수될 수 있도록 하기 위해서 제2 방사선 검출기(140)와 제3 방사선 검출기(150) 사이의 간격(D2)은 최소화하거나, 제1

방사선 검출기(130)와 제2 방사선 검출기(140) 사이의 간격(D1) 보다 작게 하는 것이 바람직하다. 이와 같이, 이차 전자(70)의 직선 궤적을 보다 정확하게 측정하기 위하여 제1 및 제2 방사선 검출기(130,140) 사이의 간격(D1)은 충분히 커야 하며, 제2 방사선 검출기(140)를 통과하는 이차 전자를 효율적으로 측정하거나 검출하기 위하여 제2 및 제3 방사선 검출기(140,150) 사이의 간격(D2)은 최소화하는 것이 바람직하다.

- [48] 또한, 제3 방사선 검출기(150)의 두께(T3)는 제1 및 제2 방사선 검출기(130, 140)의 두께(T1, T2) 보다 크게 형성될 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이 제3 방사선 검출기(150)는 제2 방사선 검출기(140)에서 방출된 이차 전자(70)의 에너지를 결정하는 역할을 한다. 이차 전자(70)는 제3 방사선 검출기(150) 내에서 최종적으로 완전히 흡수되는 동안 또 다른 이차 전자 및 엑스선(X-ray)을 발생시키게 된다. 따라서, 제2 방사선 검출기(140)에서 방출된 이차 전자(70)의 에너지를 보다 정확하게 결정하기 위해서 제3 방사선 검출기(150)의 두께(T3)를 충분히 크게 하여 제3 방사선 검출기(150) 내부에서 이차 전자(70)가 흡수되는 동안 발생하는 모든 이차 방사선들을 자체적으로 흡수할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.
- [49] 제1 및 제2 방사선 검출기(130,140)의 두께(T1, T2)는 이차 전자(70)의 궤적에 미치는 영향을 최소화하기 위해 가급적 얇게 형성하는 것이 바람직하다. 이때, 제1 및 제2 방사선 검출기(130, 140)의 두께(T1, T2)는 본 발명의 일 실시예와 같이 서로 동일한 두께로 형성될 수 있지만, 서로 다른 두께로 형성될 수도 있음은 물론이다.
- [50] 한편, 감마선 검출 장치(100)는 감마선원(50)의 위치를 추적하기 위하여 상기 제1 내지 제3 방사선 검출기(130, 140, 150) 모두에서 이차 전자(70)가 반응하였는지 여부를 판단하는 동시계수회로를 구비하는 데이터 처리기(160)를 포함할 수 있다.
- [51] 상기 데이터 처리기(160)는 제1 내지 제3 방사선 검출기(130,140,150)에 동시계수회로를 적용하여 동시에 반응이 일어난 이차 전자(70)의 데이터를 획득하여 백그라운드를 낮추거나 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio)를 높일 수 있다.
- [52] 또한, 데이터 처리기(160)는 제1 및 제2 방사선 검출기(130, 140)에서 검출된 이차 전자(70)의 궤적을 역으로 추적하여 감마선(55)의 선원(50)의 위치를 검출할 수 있다. 즉, 데이터 처리기(160)는 제1 및 제2 방사선 검출기(130, 140)에서 검출된 복수의 이차 전자(70)의 위치를 선으로 연결하고, 각 선이 교차하는 위치를 검출할 수 있다. 검출된 선의 교점이 감마선원(50)의 3차원적 위치라고 가정할 수 있으며, 이러한 선들을 다수 얻어서 감마선원(50)의 분포를 3차원적으로 영상화할 수 있다. 다시 말해 복수의 이차 전자(70)의 궤적을 역투사하면 감마선원(50)의 위치를 3차원적으로 영상화할 수 있다. 이로 인하여 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치(100)를 이동할 필요 없이 고정된

자리에서 감마선원(50)의 위치를 3차원적으로 검출할 수 있다. 이로 인하여 장치를 소형화, 경량화하여 사용자의 편의성을 향상시킬 수 있다.

- [53] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치(100)는 제1 내지 제3 방사선 검출기(130, 140, 150)에서 검출된 이차 전자(70)의 에너지를 합하고, 합한 에너지가 설정된 기준 에너지 범위에 포함되는지 여부를 판단하는 에너지 선별기(170)를 더 포함할 수 있다.
- [54] 상기 에너지 선별기(170)는 데이터 처리기(160)에서 제1 내지 제3 방사선 검출기(130, 140, 150)에서 검출된 이차 전자(70)의 에너지를 모두 합쳐 합 에너지를 구하고, 구해진 합 에너지가 미리 설정된 에너지 영역에 포함되는지 판단할 수 있다. 상기 미리 설정된 에너지 영역 내지 범위란 사용자가 영상화하고자 하는 감마선원(50)에서 방출된 감마선(55)의 에너지 영역 내지 범위로서 설정되는 에너지 영역은 발명에서 요구되는 조건에 따라 변경될 수 있다.
- [55] 상기 에너지 선별기(170)에서 제1 내지 제3 방사선 검출기(130, 140, 150)에서 검출된 에너지를 모두 합한 합 에너지가 설정된 에너지 영역에 포함되면, 이러한 데이터는 사용 가능한 데이터라고 판단하고 이를 이용하여 감마선(55)의 선원(50) 위치를 추적하는데 사용할 수 있다. 또한 상기 에너지 선별기(170)에 의하여 3 대의 검출기(130~150)에 전달된 에너지를 가지고 신호 대 잡음비를 향상시키고 백그라운드를 낮출 수 있다. 왜냐하면, 데이터 처리와 관련하여 동시계수회로에 의해 동시계수를 만족하는 데이터라고 하더라도 검출기에 전달된 에너지가 기 설정된 에너지 영역에 들지 않으면 유효한 반응으로 간주할 수 없기 때문이다. 만약, 에너지 선별기(170)에서 검출된 이차 전자(70)의 합 에너지가 기 설정된 에너지 영역에 들지 않는다면, 그러한 데이터는 모두 제거함으로써 백그라운드를 낮추고 신호 대 잡음비를 높일 수 있다. 이러한 에너지 선별기(170)를 구비함으로써, 양성자와 같이 질량이 다른 하전입자가 반응하는 경우의 데이터를 유효 데이터에서 제거할 수 있다.
- [56] 여기서, 이차 전자(70)만을 선택적으로 검출하기 위해서 제1 및 제2 방사선 검출기(130,140)에 별도의 독립적인 에너지 선별기를 사용하고, 추가적으로 3대의 방사선 검출기(130,140,150)에 전달된 에너지를 모두 더한 후 합 에너지가 기 설정된 에너지 영역 내지 범위에 포함되는지 판단하기 위한 에너지 선별기(170)를 별도로 적용할 수 있다.
- [57] 상기 구성에 의하여 고 에너지 감마선(55)을 방출하는 감마선원(50) 또는 핵반응의 분포를 영상화하기 용이해지고, 이차 전자 방출기(120)에서 발생하는 이차 전자(70)의 위치 및 에너지를 검출하고, 검출된 이차 전자(70)의 궤적을 역으로 추적하여 감마선원(50)을 추적하기 때문에 간접적으로 감마선원(50)의 위치를 추적할 수 있을 뿐 아니라 감마선원(50)의 위치를 높은 효율로 보다 정확하게 추적할 수 있게 된다.
- [58] 이하 도면을 참고하여 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선(55)을 측정하는

방법에 대해 보다 상세하게 알아보기로 한다.

- [59] 도 3을 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선(55) 측정 방법은 감마선원(50)에서 방출된 감마선(55)이 이차 전자 방출기(120)에 입사되고, 이차 전자 방출기(120)에 입사된 감마선이 콤프턴 산란 반응을 일으켜 감마선(55)의 입사 방향과 동일한 방향으로 이차 전자(70)가 방출될 수 있다(S310).
- [60] 이때, 감마선원(50)에서 방출되는 감마선(55)은 고 에너지의 감마선(55)을 사용하는 것이 바람직하다. 이와 같이 고 에너지의 감마선(55)이 선호되는 이유는, 감마선(55)의 에너지가 높을수록 감마선(55)의 초기 에너지 대부분을 이차 전자(70)에 전달하게 되고, 감마선의 에너지를 전달받은 이차 전자(70)는 대부분 감마선(55)의 진행 방향과 동일한 방향으로 그대로 방출되기 때문이다. 예를 들어, 이차 전자(70)에 전달되는 최대 전달에너지는 1MeV 감마선의 경우에는 66.2%이고, 10MeV 감마선의 경우에는 97.5% 정도가 된다.
- [61] 상기와 같이 방출된 이차 전자(70)는 제1 방사선 검출기(130)를 통과하고, 이차 전자(70)가 제1 방사선 검출기(130)를 통과하는 시점에 이차 전자(70)의 위치 및 전달에너지를 검출하고(S320), 제1 및 제2 방사선 검출기(130, 140)에서 검출된 이차 전자(70)의 궤적을 역으로 추적하여 감마선(55)의 선원(50) 위치를 검출한다(S360).
- [62] 여기서, 복수의 이차 전자(70)가 제1 방사선 검출기(130)를 통과하는 위치와 당시에 전달한 에너지를 2개의 포인트로 설정하고 2 개의 각 포인트를 위치 Pa1, Pb1, 각 위치에서의 전달에너지를 Ea1, Eb1라고 하면, 복수의 이차전자의 위치와 각 위치에서의 전달에너지를 각각 검출할 수 있다(S362). 한편, 본 발명의 실시예에 따른 감마선 검출 방법에서는 2개의 포인트에 대해서 이차 전자(70)의 위치와 에너지를 구하는 경우를 예로 들어 설명하지만, 3개 이상의 다수의 포인트를 설정하고 각 포인트에서의 위치 및 전달에너지를 검출할 수 있음은 당연하다.
- [63] 제1 방사선 검출기(130)를 통과한 이차 전자(70)는 제2 방사선 검출기(140)를 통과하고, 제2 방사선 검출기(140)를 통과하는 시점에 있어서 이차 전자(70)의 위치와 전달에너지를 검출할 수 있다(S330). 이때에도 앞서 설명한 제1 방사선 검출기(130)에서 이차 전자(70)의 위치와 에너지를 검출하는 것과 유사하게 이차 전자(70)가 제2 방사선 검출기(140)를 통과하는 복수의 위치를 Pa2, Pb2, 각 위치에서의 전달 에너지를 Ea2, Eb2라고 하면, 복수의 이차전자의 위치와 각 위치에서의 전달에너지를 각각 검출할 수 있다(S363).
- [64] 상기와 같이 위치 Pa2, Pb2 및 에너지 Ea2, Eb2를 검출하고 제2 방사선 검출기(140)를 통과한 이차 전자(70)는 제3 방사선 검출기(150)에 완전히 흡수되면서, 이차 전자(70)의 잔여에너지를 검출할 수 있다(S340).
- [65] 상기 제1 및 제2 방사선 검출기(130, 140)에서 각각 측정된 이차전자(70)의 위치 Pa1와 위치 Pa2를 궤적 또는 선으로 연결하고, 또한 위치 Pb1와 상기 위치 Pb2를 궤적 또는 선으로 연결한다. 연결된 각 궤적을 역 투사하여 서로 교차된 지점을

추적하게 되고(S366), 이차 전자(70)의 궤적을 역으로 추적하여 각 선들이 교차된 지점에 감마선원(50)이 위치한다고 판단하게 된다(S368).

[66] 이때, 본 발명의 실시예에서는 감마선원(50)의 위치를 3차원적으로 결정하기 위해 2 개의 이차 전자(70)의 궤적을 역으로 추적하는 예를 들지만, 다수의 이차 전자(70)의 위치를 선택하여 역으로 추적한 궤적이 한 점에서 모이게 되는 것으로부터 감마선원(50)의 위치를 결정할 수도 있다.

[67] 이때, 제1 내지 제3 방사선 검출기(130, 140, 150)에서 검출된 이차 전자(70)의 에너지의 합이 기 설정된 기준 에너지 범위에 포함되는지 여부를 판단하고(S350), 기준 에너지 범위에 포함되는 이차 전자(70)의 데이터만을 사용하여 영상을 획득하게 된다(S370).

[68] 또한, 제1 방사선 검출기(130) 및 제2 방사선 검출기(140)에 전달된 이차 전자(70)의 에너지가 기 설정된 각각의 기준 에너지 범위에 포함되는지 여부를 판단하고, 기준 에너지 범위에 포함되는 이차 전자(70)의 데이터만을 선택할 수도 있다.

[69] 상기 데이터를 검출하는 과정에서, 3 대의 방사선 검출기에는 동시계수회로를 적용하여 3대의 검출기 모두에서 거의 동시에 반응이 일어난 데이터만 기록한다. 이때, 제1 및 제2 방사선 검출기(130, 140)는 매우 얇은 검출기를 사용하기 때문에 비하전입자가 동시에 두 개의 검출기와 직접 반응하는 경우는 매우 드물 것이고, 동시계수를 만족하는 경우에는 거의 대부분이 하전입자에 의한 것이라고 판단할 수 있기 때문이다.

[70] 더불어, 제1 내지 제3 방사선 검출기(130, 140, 150)에서 검출된 에너지를 모두 더한 합 에너지를 에너지 선별기(170)에 적용하게 된다. 에너지 선별기(170)란 데이터 처리기(160)에서 동시계수를 만족하여 기록된 데이터라고 하더라도 사용자가 설정한 에너지 범위 내에 들어야만 유효한 반응이라고 간주하고 나머지는 모두 제거하는 것을 말한다. 이를 통해 다른 하전입자가 반응하는 경우를 효과적으로 제거할 수 있다.

[71] 이하에서는 상기 장치 및 방법으로 양성자 빔의 비정을 확인한 결과를 살펴봄으로써 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치 및 검출 방법의 정확성에 대해서 살펴보기로 한다.

[72] 도 4에는 물 팬텀(water phantom)에 치료용 에너지를 가지는 양성자 빔을 조사하면서 물 팬텀 내에서 양성자 빔(proton beam)의 비정 및 위치를 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치 및 검출 방법을 사용하여 실험한 사진 및 그래프가 도시되어 있다. 즉, 양성자가 물 팬텀과 반응하여 즉발 감마선이 생성되고 이 즉발 감마선의 분포를 이차 전자의 궤적 추적 및 동시계수, 에너지 선별기, 선 역투사 기법 등을 이용하여 영상화하였다. 이 때 사용된 양성자 빔의 에너지는 80, 150, 200 MeV이다.

[73] 양성자 빔의 퍼짐 정도를 고려하여 각 에너지 별로 물 팬텀의 크기를 달리하여 실험하였다. 여기서, 물 팬텀은 이차 전자 방출기(120)의 역할을 한다고 할 수

있다. 물 팬텀의 크기는 각각의 양성자 빔에 대해서 $2 \times 2 \times 30 \text{ cm}^3$ (80 MeV 양성자 빔), $3 \times 3 \times 30 \text{ cm}^3$ (150 MeV 양성자 빔), $4 \times 4 \times 30 \text{ cm}^3$ (200 MeV 양성자 빔)이다.

- [74] 도 4를 참고하면, 위에서 첫 번째 사진과 그래프는 80 MeV 양성자 빔, 두 번째 사진과 그래프는 150 MeV, 세 번째 사진과 그래프는 200 MeV 양성자 빔을 물 팬텀에 조사하였을 경우이다.
- [75] 또한, 도 4에서 좌측(a)의 사진은 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치 및 검출 방법을 사용하여 얻은 즉발 감마선 분포에 대한 영상이고, 우측(b)의 사진은 해당 영상의 중심축을 따라 획득한 픽셀 값(GEV image 참조), 물 팬텀 내에서의 즉발 감마선 발생 분포(prompt γ 참조), 양성자의 선량 분포(proton dose 참조)를 보여주고 있다.
- [76] 여기서, 도 4의 (b)에서 "prompt γ "로 표시된 그래프는 양성자 빔에 의해 발생하는 즉발 감마선(55)의 분포를 보여주고, "GEV image"로 표시된 그래프는 본 발명의 감마선 검출 장치(100) 및 방법에 의해 획득한 영상의 픽셀 값을 보여준다.
- [77] 도 4를 참고하면, 즉발 감마선(55)의 분포와 본 발명의 감마선 검출 장치(100) 및 방법으로 획득한 데이터는 1mm 이내의 오차를 가지고 매우 정확하게 일치하고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 양성자 빔을 사용하는 치료나 실험 도중에 실시간으로 양성자 빔의 비정을 정확하게 유추할 수 있을 것이다.
- [78] 상기에서 설명한 본 발명의 일 실시예에 따른 감마선 검출 장치(100) 및 이를 이용한 감마선 검출 방법은 의료 목적의 핵의학 및 분자영상, 소 동물용 영상장치, 뇌과학, 방사성 추적자를 이용한 수리학, 우주물리 등 다양한 분야에 적용될 수 있으며, 고 에너지 감마선원을 사용할 경우 더욱 우수한 영상을 획득할 수 있다. 특히, 양성자 치료 설비에서 양성자 빔의 비정 및 위치를 치료 중 실시간으로 결정하는 장치에 사용되거나, 펄서나 초신성 잔해 연구 등 천체물리를 위한 우주 감마선 계측 및 영상화 장치에 적용될 수 있다.
- [79] 이상과 같이 본 발명의 일 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

산업상 이용가능성

- [80] 본 발명은 의료 분야 또는 우주 감마선 영상 분야 등에 적용될 수 있다.

청구범위

[청구항 1]

입사된 감마선과 컴프턴 산란 반응을 일으켜 상기 감마선의 진행 방향으로 이차 전자를 방출시키는 이차 전자 방출기;
상기 이차 전자의 방출 진행 방향에 대해 상기 이차 전자 방출기와 대향되도록 구비되고, 상기 이차 전자의 위치 및 전달에너지를 검출하는 제1 방사선 검출기;
상기 이차 전자의 방출 진행 방향에 대해 상기 제1 방사선 검출기와 대향되도록 구비되고, 상기 제1 방사선 검출기를 통과한 상기 이차 전자의 위치 및 전달에너지를 검출하는 제2 방사선 검출기;
상기 이차 전자의 방출 진행 방향에 대해 상기 제2 방사선 검출기와 대향되도록 구비되고, 상기 제2 방사선 검출기를 통과한 상기 이차 전자를 흡수하여 상기 이차 전자의 잔여에너지를 검출하는 제3 방사선 검출기; 및
상기 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 상기 이차 전자의 동시 반응 여부를 판단하는 동시계수회로를 구비한 데이터 처리기;를 포함하고,
상기 데이터 처리기는 상기 제1 및 제2 방사선 검출기에서 검출된 상기 이차 전자의 궤적을 역으로 추적하여 상기 감마선의 선원의 위치를 검출하는 것을 특징으로 하는 감마선 검출 장치.

[청구항 2]

제1항에 있어서,
상기 제1 방사선 검출기 또는 상기 제2 방사선 검출기는 복수의 상기 이차 전자의 위치를 검출하고,
상기 데이터 처리기는 상기 이차 전자의 위치를 연결한 선의 교점으로부터 상기 감마선의 선원을 검출하는 것을 특징으로 하는 감마선 검출 장치.

[청구항 3]

제2항에 있어서,
상기 이차 전자 방출기는 상기 이차 전자가 직선 궤적을 유지하며 상기 이차 전자 방출기에서 방출되도록 액화 헬륨, 베릴륨 또는 증류수 중 어느 하나의 물질로 형성된 것을 특징으로 하는 감마선 검출 장치.

[청구항 4]

제3항에 있어서,
상기 제1 방사선 검출기 또는 상기 제2 방사선 검출기는 상기 이차 전자 방출기에서 방출된 상기 이차 전자가 상기 제1 방사선 검출기 또는 상기 제2 방사선 검출기를 통과하는 동안 직선 궤적을 유지하도록 원자번호가 작거나 밀도가 낮은 물질로 형성된 것을 특징으로 하는 감마선 검출 장치.

- [청구항 5] 제4항에 있어서,
상기 제1 방사선 검출기 또는 상기 제2 방사선 검출기는 양면 실리콘 스트립 타입으로 형성된 것을 특징으로 하는 감마선 검출 장치.
- [청구항 6] 제4항에 있어서,
상기 제1 및 제2 방사선 검출기의 간격은 상기 제2 및 제3 방사선 검출기 간격보다 크게 형성된 것을 특징으로 하는 감마선 검출 장치.
- [청구항 7] 제6항에 있어서,
상기 제3 방사선 검출기의 두께는 상기 제1 방사선 검출기 또는 상기 제2 방사선 검출기의 두께보다 크게 형성된 것을 특징으로 하는 감마선 검출 장치.
- [청구항 8] 제4항에 있어서,
상기 감마선 검출 장치는,
상기 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 검출된 상기 이차 전자의 에너지를 합하고, 합한 에너지가 설정된 기준 에너지 범위에 포함되는지 여부를 판단하는 에너지 선별기를 포함하는 것을 특징으로 하는 감마선 검출 장치.
- [청구항 9] 제1항 내지 제8항 중 어느 한 항의 감마선 검출 장치를 이용한 감마선 검출 방법에 있어서,
(a) 상기 이차 전자 방출기에 입사된 상기 감마선과 콤프턴 산란 반응을 일으키고, 상기 감마선의 진행 방향과 동일한 방향으로 상기 이차 전자를 방출시키는 단계;
(b) 상기 이차 전자가 상기 제1 방사선 검출기를 통과하는 시점의 상기 이차 전자의 위치 및 전달에너지를 검출하는 단계;
(c) 상기 이차 전자가 상기 제2 방사선 검출기를 통과하는 시점의 상기 이차 전자의 위치 및 전달에너지를 검출하는 단계;
(d) 상기 이차 전자가 상기 제3 방사선 검출기에 흡수되는 시점의 상기 이차 전자의 잔여에너지를 검출하는 단계;
(e) 상기 데이터 처리기를 이용하여 상기 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 동시에 검출된 상기 이차 전자의 데이터를 검출하는 단계;
(f) 상기 제1 및 제2 방사선 검출기에서 검출된 상기 이차 전자의 궤적을 역으로 추적하여 상기 감마선의 선원 위치를 검출하는 단계; 및
(g) 상기 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 검출된 상기 이차 전자의 에너지 합이 설정된 기준 에너지 범위에 포함되는 데이터를 영상으로 획득하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 감마선

검출 방법.

[청구항 10]

제9항에 있어서,

상기 (b) 단계는 복수의 상기 이차 전자가 상기 제1 방사선 검출기를 통과하는 위치 Pa1, 위치 Pb1 및 상기 위치 Pa1, 위치 Pb1를 통과하는 당시의 상기 이차 전자가 전달한 에너지 Ea1, 에너지 Eb1를 측정하는 단계를 포함하며,
상기 (c) 단계는 상기 제1 방사선 검출기를 통과한 상기 이차 전자가 상기 제2 방사선 검출기를 통과하는 위치 Pa2, 위치 Pb2 및 상기 위치 Pa2, Pb2를 통과하는 당시의 상기 이차 전자가 전달한 에너지 Ea2, 에너지 Eb2를 측정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 감마선 검출 방법.

[청구항 11]

제10항에 있어서,

상기 (f) 단계는 측정된 상기 위치 Pa1 및 상기 위치 Pa2를 연결한 궤적과 상기 위치 Pb1 및 상기 위치 Pb2를 연결한 궤적을 역투사하여, 2개의 궤적이 서로 교차된 지점을 상기 감마선의 선원 위치라고 판단하는 것을 특징으로 하는 감마선 검출 방법.

[청구항 12]

제11항에 있어서,

상기 (e) 단계는,

동시계수회로를 이용하여 상기 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 동시에 검출된 이차 전자의 데이터를 선택하는 것을 특징으로 하는 감마선 검출 방법.

[청구항 13]

제12항에 있어서,

상기 (e) 단계는,

상기 제1 내지 제3 방사선 검출기에서 검출된 상기 이차 전자의 에너지 합이 설정된 기준 에너지 범위에 포함되는 데이터를 선택하는 것을 특징으로 하는 감마선 검출 방법.

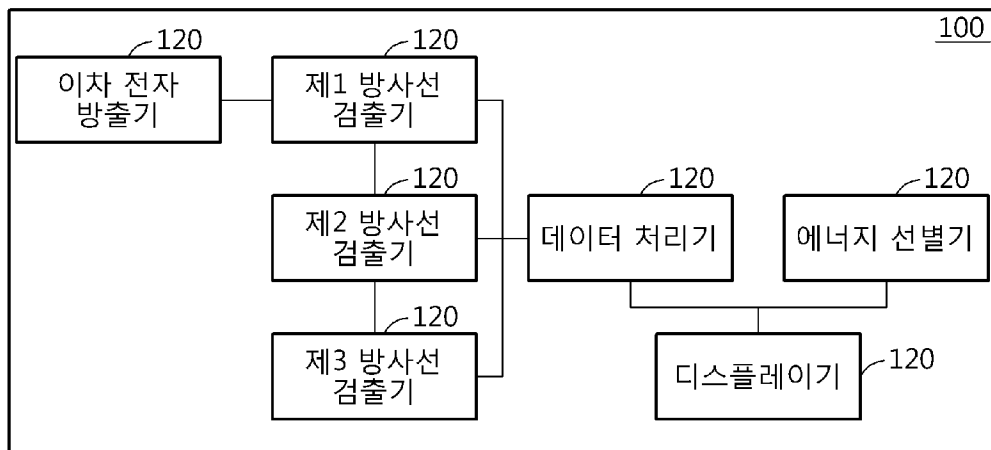
[청구항 14]

제13항에 있어서,

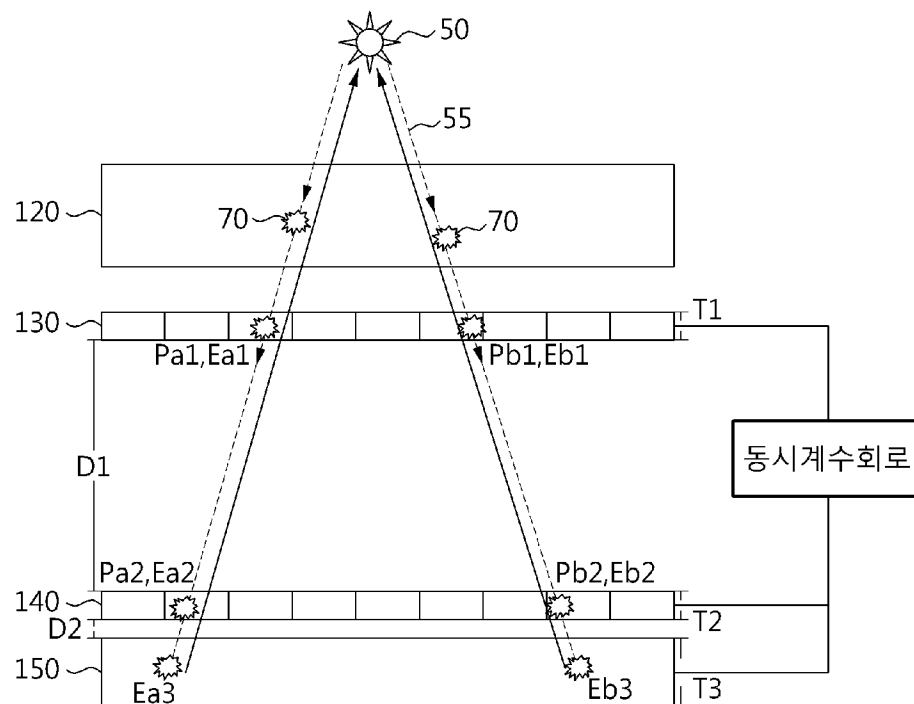
상기 (e) 단계는,

상기 제1 방사선 검출기 및 제2 방사선 검출기에 전달된 상기 이차 전자의 에너지가 설정된 각각의 기준 에너지 범위에 포함되는 데이터를 선택하는 것을 특징으로 하는 감마선 검출 방법.

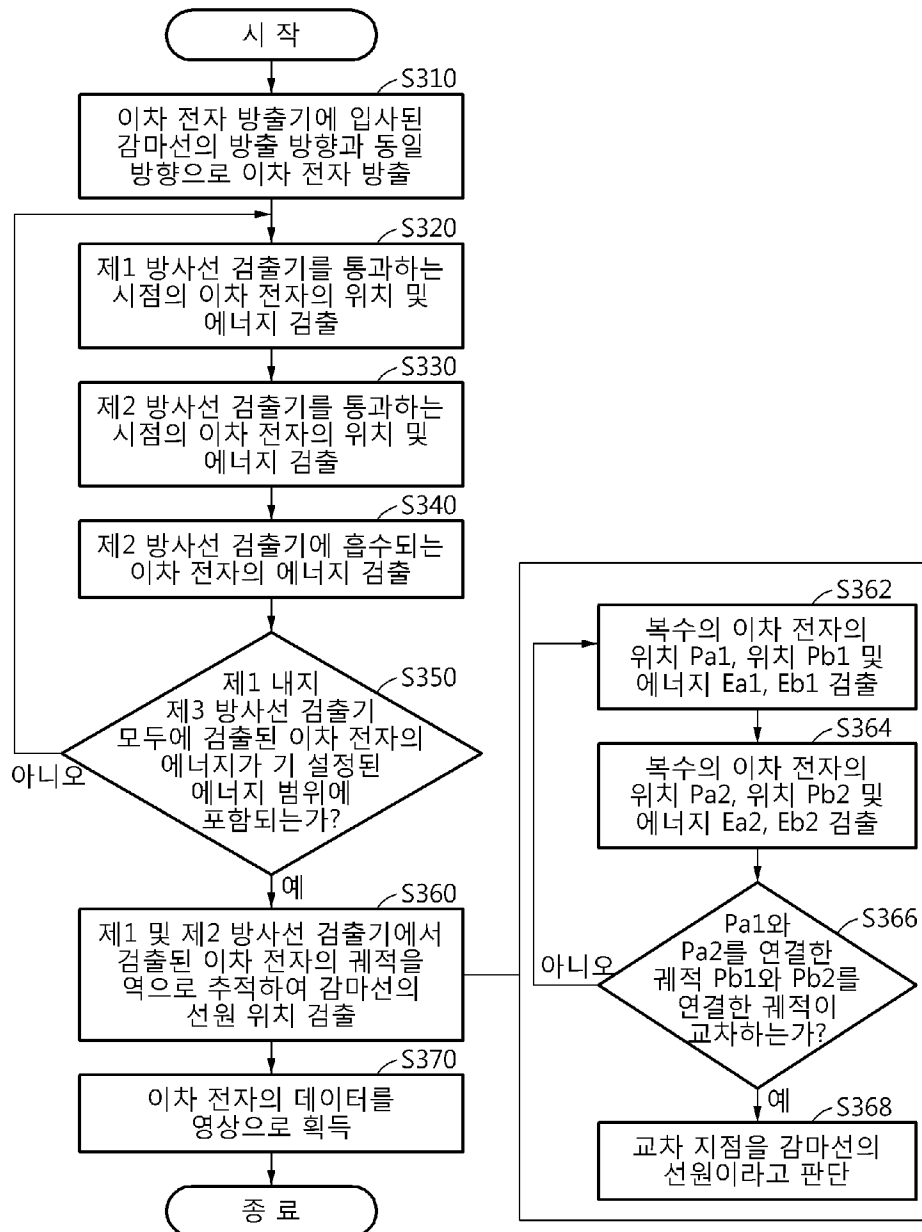
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]

