

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K20211

研究課題名(和文)超高分解能サブミリSPECTを実現する重元素半導体検出器の開発

研究課題名(英文)Development of heavy-element semiconductor radiation detectors for realizing ultra-high resolution SPECT

研究代表者

野上 光博(Mitsuhiro, Nogami)

東北大学・工学研究科・助手

研究者番号：10847304

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文): TlBrピクセル型半導体検出器の固有分解能向上のための信号処理技術開発を行った。開発した信号処理技術の評価を1つのアノードピクセル電極とそれを囲むガード電極およびカソード電極を有するTlBrピクセル半導体検出器を用いて行った。ガード電極とアノード電極の信号波高値比を用いることにより、ピクセル電極サイズ以上の相互作用位置の決定を行えることを実証した。また、カソード電極とアノード電極の信号波高値比から検出器内の深さ方向の相互作用位置の決定を行った。カソード近傍かつアノードピクセルの中心領域で相互作用したイベントのみを取り出すことにより、検出器のエネルギー分解能が向上することを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

SPECTは臓器の機能検査に用いられる装置であり、比較的半減期の長い放射性薬剤を用いるため、大型施設が不要である。しかしながら、空間分解能が1 cm程度と低いことが最大の欠点となっている。SPECTの空間分解能を向上させるためには、高い固有分解能を有するガンマ線検出器が必須である。本研究では、ガンマ線を高効率に計測可能なTlBrピクセル半導体検出器において、各電極からの信号の波高値比を用いることにより固有分解能が向上することを実証した。本研究の成果は、SPECTの空間分解能の改善につながるものである。

研究成果の概要(英文): SPECT (single-photon emission computed tomography) is used as a tool in diagnosing the physiological functions of organs. A drawback of SPECT is the low spatial resolutions about 1 cm. Radiation detectors used for SPECT are required for high spatial resolutions to find small lesions. In this study, a signal processing technology was developed to improve the spatial resolutions of TlBr pixelated semiconductor radiation detectors with an anode pixel electrode, a guard electrode, and a cathode electrode. The radial interaction position in the anode pixel for the incident gamma ray was determined by taking the anode to guard electrode signal ratio. In addition, the depth of interaction of the incident gamma ray was determined by taking the cathode to anode signal ratio. The energy resolution of the TlBr pixelated detector was improved by selecting the events occurred near the cathode surface region and in the central region of the anode pixel.

研究分野：放射線計測学

キーワード：放射線計測 SPECT 重元素半導体検出器 臭化タリウム(TlBr) 超高分解能サブミリSPECT

1. 研究開始当初の背景

三大成人病であるがん・心疾患・脳血管疾患は日本人の死因の半数以上を占め、これらの病気に対しては早期発見および治療が必要である。これらの病気の早期発見のためには、臓器の初期機能異常を検出・診断する必要がある。機能検査を行う代表的なものには、PET (Positron Emission Tomography) と SPECT (Single-Photon Emission Computed Tomography) が挙げられる。PET は比較的高い空間分解能の画像を得ることができる一方で、半減期の短い核種を使用するために、加速器や薬剤の自動合成装置が必要となるため、限られた施設でのみしか利用することができない。SPECT は、比較的に長い半減期の放射性薬剤を使用するため、PET よりも利用できる施設の制限が少ない。しかしながら、SPECT は空間分解能が約 1 cm 程度と低いことが最大の欠点となっている。

SPECT の空間分解能を改善するためには、高い固有分解能を有するガンマ線検出器の開発が必要である。

2. 研究の目的

三大成人病の早期発見に寄与する高空間分解能を有する SPECT 装置の実現のために、高い固有分解能を有するガンマ線検出器の開発を目指した。既存の SPECT 装置は空間分解能を改善するためにコリメータ等に工夫がなされているが、SPECT 装置に用いられる多くの検出器はシンチレーション検出器である。シンチレーション検出器はガンマ線を光に変換し計測を行う間接変換型であり、直接変換型の半導体検出器より位置分解能が劣る。

本研究では、新しい半導体材料である臭化タリウム(TlBr)に着目した。TlBr は構成原子の原子番号がタリウムで 81 番、臭素で 35 番と高く、また高密度(7.56 g/cm^3)であるためにガンマ線吸収効率が非常に高い。脳血流診断の際に用いられる ^{123}I からの 159 keV のガンマ線の場合、現状で SPECT に採用されている CdTe 系の半導体検出器では、80%程度の検出効率を得るために約 5 mm 厚必要なのに対して、TlBr は約 1.5 mm 厚で CdTe 系と同等のガンマ線吸収効率が得られる。このため、TlBr は CdTe 系よりも検出器を薄くすることができ、斜め入射のガンマ線による画像のぼけを抑制することができる。このように TlBr 半導体検出器には、従来の半導体検出器よりも高い空間分解能を実現するポテンシャルがある。そこで本研究の目的を TlBr ピクセル型半導体検出器においてピクセル電極サイズ以上の相互作用位置決定が行える信号処理技術を開発することとした。

3. 研究の方法

SPECT に用いられる半導体検出器には、大面積の有感領域をもつことが求められる。大面積の有感領域をもつ TlBr 検出器を実現するためには、大型結晶を育成する技術と複数の独立した電極を構築する技術が必要となる。本研究では大面積の有感領域を有する TlBr 検出器の製作を行った。

TlBr 検出器において、カソード電極とアノードピクセル電極からの信号波高値比を用いることにより、検出器内の深さ方向の相互作用位置の同定を行うことができる。ガード電極とアノードピクセル電極の信号波高値比を用いることで、アノードピクセル電極内の相互作用位置を同定することのできる信号処理技術の研究開発に取り組んだ。開発した信号処理技術の評価を 1 つのアノードピクセル電極とそれを囲むガード電極およびカソード電極を有する TlBr ピクセル型半導体検出器を用いて行った。評価実験では、 ^{137}Cs からの 662 keV のガンマ線を TlBr ピクセル型半導体検出器のカソード面から照射した。

4. 研究成果

大面積の有感領域を有する TlBr 検出器の製作のために、検出器の電極構造の検討を行い、 3×3 ピクセルの電極が作成可能な蒸着マスクを製作した。製作したマスクを用いて 3×3 ピクセルを有する TlBr 検出器の製作を行った (図 1)。製作には $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ の大型 TlBr 結晶を用いた。製作した TlBr 検出器は、 3×3 アノードピクセル (それぞれのピクセルサイズ: $1.5 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$) とそれを囲むガード電極、カソードとして $8.0 \text{ mm} \times 8.0 \text{ mm}$ の電極を有している。TlBr 半導体検出器を結晶育成から検出器製作まで一貫して行った。

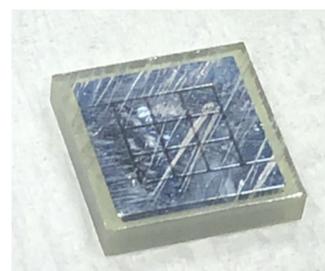


図 1 製作した 3×3 ピクセルを有する TlBr 検出器

信号処理技術の評価実験に使用した TlBr ピクセル型半導体検出器は $1.5 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ のアノードピクセル電極とそれを囲むガード電極および $5.0 \text{ mm} \times 5.0 \text{ mm}$ のカソード電極を有している。評価実験体系を図 2 にまとめた。TlBr ピクセル型半導体検出器の各電極はそれぞれ電荷有感型前置増幅器に接続されており、各電極からの信号はデジタイザで取得し PC にて処理を行った。バイアス電圧はカソードから 300 V 印加した。 ^{137}Cs からの 662 keV のガンマ線を TlBr ピクセル型半導体検出器のカソード面から照射した。TlBr ピクセル型半導体検出器から得られた典

典型的な信号の例を図 3 に示す。このように今回構築した計測回路系を用いることで、TlBr ピクセル型半導体検出器の各電極からの信号を取得することができた。図 4 に今回の計測で得られた各電極からの全スペクトルをまとめた。信号処理を行っていないアノードスペクトルは 662 keV のガンマ線に対して 3.0 % FWHM のエネルギー分解能を示した。

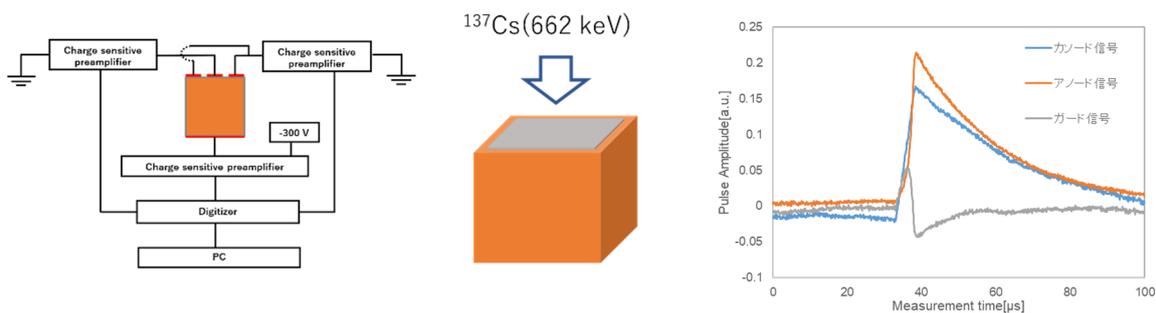


図 2 評価実験体系

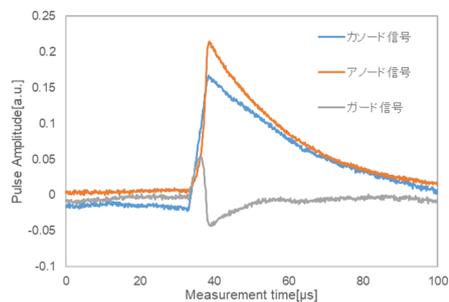


図 3 TlBr ピクセル半導体検出器から得られる典型的な信号の例

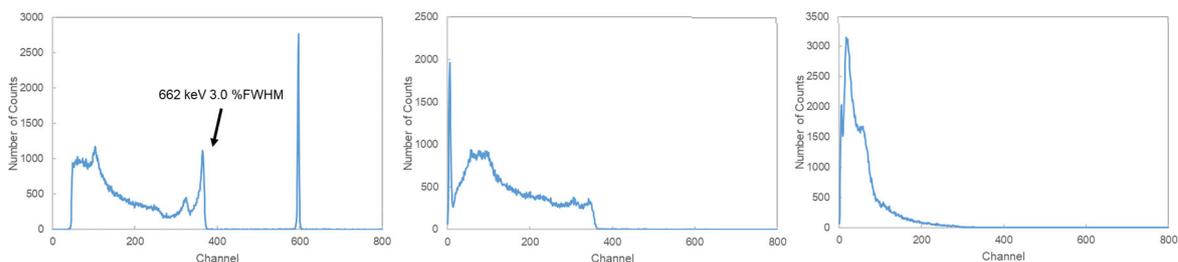


図 4 TlBr ピクセル半導体検出器から得られた全スペクトル

(左：全アノードスペクトル、中：全カソードスペクトル、右：全ガードスペクトル)

次に、カソード電極とアノードピクセル電極信号比を用いて TlBr ピクセル型検出器内の相互作用深さの同定を行った。横軸をアノードピクセル電極信号波高値、縦軸をカソード電極とアノードピクセル電極の波高値比とした 2D スペクトルを図 5 に示す。今回の計測結果では、カソード電極とアノード電極の波高値比が 8 の時がカソード近傍で相互作用したイベントとなる。波高値比が <8 で数値が小さくなるほどアノードに近いイベントとなる。波高値比 >8 のイベントは検出器内でマルチヒットしたイベントである。カソード近傍で相互作用したイベントのみを取り出したアノードスペクトル (図 6) は 662 keV のガンマ線に対して 1.8 % FWHM のエネルギー分解能を示した。

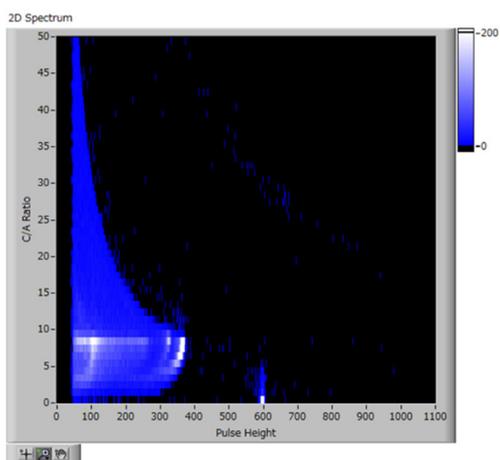


図 5 2D スペクトル

(カソード電極とアノードピクセル電極の波高値比 V.S. アノード信号波高値)

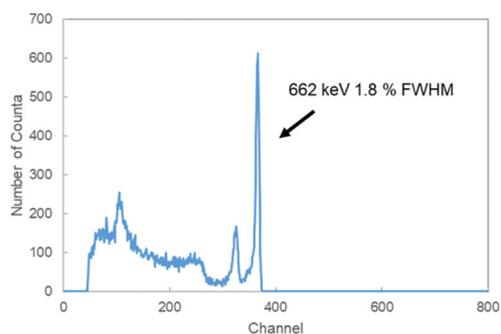


図 6 カソード近傍で相互作用してイベントのみを取り出したアノードスペクトル

アノードピクセル内の相互作用位置をガード電極とアノードピクセル電極の信号波高値比を用いて推定した。推定にはカソード近傍で相互作用したイベント (カソード電極とアノード電極の波高値比 = 8) のみを使用した。横軸をアノードピクセル電極信号波高値、縦軸をガード電極とアノードピクセル電極の波高値比とした 2D スペクトルを図 7 に示す。ガード電極とアノードピクセル電極の波高値比が小さいほど、アノードピクセルの内側領域で相互作用したイベントと推定される。ガード電極とアノードピクセル電極の波高値比が 3 から 6 のイベントを用いて、

図 8 の概念図のようにアノードピクセルを 4 分割した。それぞれの領域毎のアノードスペクトルを図 9 に示す。カソード近傍かつアノードピクセルの中心領域（領域 1）で相互作用したイベントのみを取り出すことにより、662 keV に対して 1.2%FWHM と高いエネルギー分解能が得られた。これらの結果は本研究で開発した信号処理技術により、TlBr ピクセル型半導体検出器のピクセル電極サイズ以上の相互作用位置決定が実現できることを示している。

以上の研究成果は、SPECT 用のガンマ線半導体検出器の固有分解能の向上に貢献するものである。

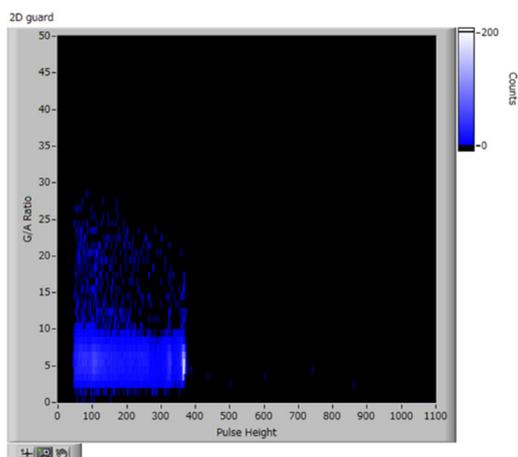


図 7 2D スペクトル
(ガード電極とアノードピクセル電極の波高値比
V.S. アノード信号波高値)

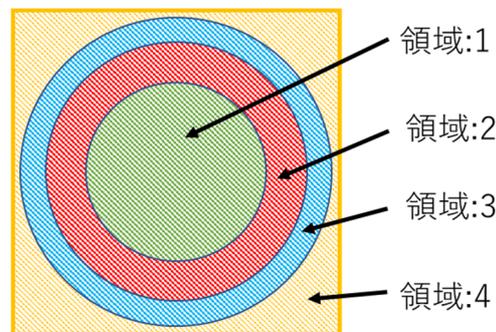


図 8 ガード電極とアノードピクセル電極の波高値比により分割したアノードピクセルの概念図

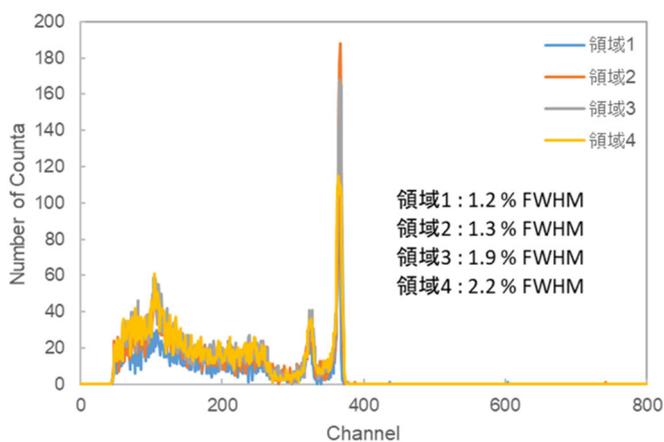


図 9 アノードピクセル領域毎のアノードスペクトル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 野上光博、人見啓太郎、小野寺敏幸、椿山邦見、渡辺賢一、山端峻、石井慶造
2. 発表標題 TlBrガンマ線検出器の位置分解能向上のための検討
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------