

平成22年 5月25日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760048
 研究課題名（和文） 三次元臭化タリウム検出器を用いた次世代PETモジュールの開発
 研究課題名（英文） Development of next-generation PET modules using 3D TlBr detectors
 研究代表者
 人見 啓太郎（HITOMI KEITARO）
 東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・准教授
 研究者番号：60382660

研究成果の概要（和文）：高い空間分解能を有する次世代PET装置のために化合物半導体である臭化タリウム(TlBr)を用いて半導体ガンマ線センサーを開発した。臭化タリウム結晶の育成、センサーの製作、センサーの性能評価を行った。臭化タリウムセンサーは比較的高い時間分解能を示し、長期安定動作するためPET用センサーとして実用化が可能であるとの知見が得られた。

研究成果の概要（英文）：Semiconductor gamma-ray sensors using a compound semiconductor, thallium bromide (TlBr), were developed for the next-generation PET scanner with ultra-high spatial resolutions. Crystal growth and fabrication and evaluation of TlBr gamma-ray sensors were performed in this study. It can be concluded that the TlBr sensor is a practical candidate for gamma-ray detectors constructing PET scanner since the TlBr detectors exhibited good timing performance with good long-term stability.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：放射線、ガンマ線検出器、位置検出器、臭化タリウム、半導体検出器、PET

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初から現在に至るまで、高齢化が進む日本社会に於いて、ガン、認知症の撲滅が緊急不可欠な課題となっている。陽電子断層撮影装置(Positron Emission Tomography: PET)はガンの早期発見、脳の高次機能研究の切り札として、この問題の解決に貢献するこ

とが期待されている。実用化されているPET装置の多くはLSO、GSO、BGOといったシンチレータに光電子増倍管を接続するガンマ線センサーが使用されている。シンチレータ、光電子増倍管を用いたPETでは、その構造上、空間分解能が数mm程度に制限されてしまうという欠点がある。ガンの超早期発見、

脳機能研究に於いては 1 mm 以下の空間分解能が必要とされている。このため、PET の空間分解能を飛躍的に向上させるため半導体を用いた次世代 PET の開発が世界各国で行われている。半導体は素子を小型にできる上に、電極を分割することが可能なため、シンチレータを使用した PET を大幅に上回る空間分解能を実現することができる。この流れを受け、近年、化合物半導体であるテルル化カドミウム(CdTe)を用いた PET が開発され、1 mm 以下の空間分解能を実現している。しかしながら、CdTe はガンマ線吸収効率が LSO、GSO、BGO といったシンチレータに比べて非常に低く、感度が低いという欠点がある。また、CdTe は半導体品質の結晶育成が困難なため、体積当たりの値段がシンチレータに比べて非常に高く、検出器を多数使用する PET には適さない。CdTe を用いた PET は空間分解能は高いが、感度が非常に低く、コストが高いため、これに代わる次世代の半導体材料の開発が急務となっていた。CdTe に代わる材料として新しい化合物半導体、臭化タリウム(TlBr)が注目を集めていた。TlBr は原子番号が高く(Tl: 81, Br: 35)、鉄と同程度の高密度(7.56 g/cm³)を持つため、ガンマ線の検出効率が CdTe の約 2 倍と非常に高く、LSO、GSO、BGO シンチレータ以上の検出効率を示す。また、TlBr の融点は 460°C と低く、1000°C 以上の高融点を持つ CdTe に比べて、高品質の結晶育成が容易であり、センサーのコストを低く抑えることができ、PET 用検出器として大変有望である。

2. 研究の目的

新しい化合物半導体 TlBr に着目し、素材純化、結晶育成技術の最適化による高品質 TlBr 結晶の育成技術の確立や、高エネルギー分解能、高時間分解能を示し、長期安定動作する TlBr 検出器の開発を通して、次世代の超高効率、高空間分解能 PET 開発の基礎研究を行うことが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1)ガンマ線センサー材料としての半導体結晶には非常に高い純度が求められる。本研究では、真空蒸留法、帯域精製法を用いて TlBr 素材の高純度化を行った。公称純度 99.99% 以上の TlBr 粉末を高純度石英管内で純化した。更に帯溶解法を用いて TlBr 結晶の育成を行った。
(2)育成した TlBr 結晶を切り出し、研磨、エッチング等の結晶表面処理を行った。真空蒸着法により金属を結晶表面に蒸着し電極形成を行った。導線を導電性の接着剤を用いて電極に接続し TlBr センサーを製作した。
(3)製作したセンサーを評価するためにセンサーの暗電流測定、ガンマ線スペクトル測定、

時間分解能測定を行った。

(4)TlBr センサーに電圧を印加しガンマ線を照射し続けた状態でスペクトル測定を行い、長期安定動作について評価した。

4. 研究成果

(1)本研究ではガンマ線センサーとして十分に動作する TlBr 結晶の育成に成功した。図 1 に育成した TlBr 結晶の写真を示す。

(2)PET 用の検出器には高い時間分解能が要求される。検出器に印加可能な電圧を増加させると、検出器の信号立ち上がり時間が早くなるため時間分解能が改善する。これまでは TlBr 検出器に 200V 程度の電圧しか印加できなかったが、検出器上に形成する電極の蒸着条件の最適化を図ることにより、500V まで印加電圧を引き上げることに成功した。その結果、エネルギーウインドウ 250 keV - 550 keV で BaF₂ 検出器とのコインシデンスにより平行平板型、厚さ 1 mm の TlBr 検出器から 21 ns の時間分解能を得ることができた。

(3)平行平板型の検出器中でのガンマ線の相互作用位置を速い波形整形信号と遅い波形整形信号の比を取ることで決定し、検出器のエネルギー分解能の改善が可能であることを見出した。さらに、この手法を時間分解能測定に応用することにより時間分解能が改善可能であるという知見を得た。

(4)厚さ 1 mm の TlBr 結晶に長さ 3.5 mm、幅 0.8 mm の短冊状電極を 4 つ配したストリップ型検出器を製作した。この検出器は 511 keV のガンマ線に対して 7% のエネルギー分解能を示した。

(5)両面電極を短冊状にしたストリップ型三次元検出器の開発を行った。三次元検出器は通常、ピクセル電極を用い、それぞれの電極信号から位置情報、エネルギー情報、時間情報を得る。この場合、各ピクセルに読み出し回路を接続するため、PET など多数の検出器を必要とする装置への応用が比較的困難である。ストリップ型検出器の場合、両面に配置された電極から x 方向、y 方向の情報を得て後段の回路で信号処理を行うことにより、読み出し回路数を飛躍的に少なくすることができる。本研究ではストリップ型三次元 TlBr 検出器(ストリップ幅約 1 mm)を製作し、122 keV のガンマ線に対して 4.9% のエネルギー分解能を得ることに成功した(図 2、3)。

(6)センサーに印加するバイアス電圧の極性を 24 時間ごとに反転させることにより検出器を 600 時間に渡り安定に動作させることに成功し、動作限界時間を大幅に更新することができた。

本研究では、TlBr 検出器が高い時間分解能を示し、ストリップ型としても性能に遜色がなく、長期安定動作するため PET 用センサーとして実用化が可能であることを見出した。



図1 TlBr 結晶

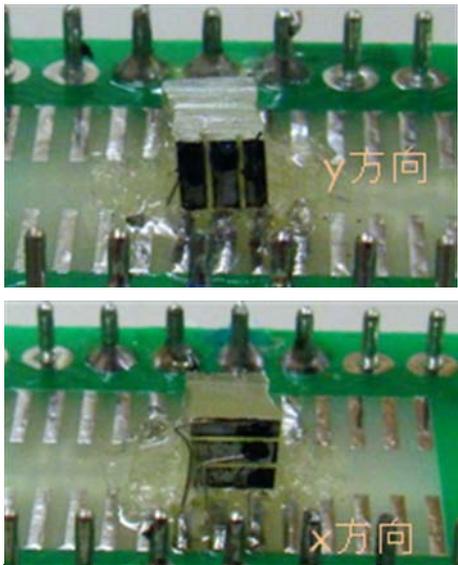


図2 両面型 TlBr ストリップ検出器

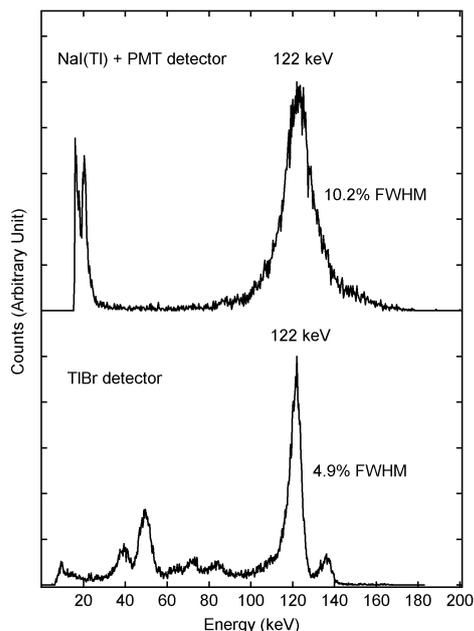


図3 ^{57}Co スペクトル

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

1. K. Hitomi, Y. Kikuchi, T. Shoji and K. Ishii, "Improvement of energy resolutions in TlBr detectors," Nucl. Instr. Meth. A, Vol. 607, 112-115 (2009). 査読有
2. K. Hitomi, Y. Kikuchi, T. Shoji and K. Ishii, "Polarization phenomena in TlBr detectors," IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. 56, 1859-1862 (2009). 査読有
3. K. Hitomi, Y. Kikuchi, M. Nakhostin, T. Shoji and K. Ishii, "Fabrication of TlBr strip detectors," Proceedings of SPIE, 7449, 74491D (2009). 査読無
4. K. Hitomi, T. Onodera, T. Shoji and Z. He, "Investigation of pixilated TlBr gamma-ray spectrometers with the depth-sensing technique," Nucl. Instr. Meth. A, Vol. 591, 276-278 (2008). 査読有
5. K. Hitomi, T. Onodera, T. Shoji, Y. Hiratate and Z. He, "TlBr gamma-ray spectrometers using the depth sensitive single polarity charge sensing technique," IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. 55, 1781-1784 (2008). 査読有

[学会発表] (計 12 件)

1. 人見啓太朗, 菊池洋平, 庄司忠良, 石井慶造, "TlBr放射線検出器開発の最新動向," 第70回応用物理学会学術講演会, 2009年9月9日, 富山大学, 富山県.
2. 早川健太郎, 人見啓太朗, 庄司忠良, 小野寺力, "放射線検出器に用いられるTlBr結晶のPL評価(2)," 第70回応用物理学会学術講演会, 2009年9月10日, 富山大学, 富山県.
3. 人見啓太朗, 菊池洋平, Mohammad Nakhostin, 石井慶造, 庄司忠良, "低温でのTlBr検出器の特性評価," 日本原子力学会「2009年秋の大会」, 2009年9月16日, 東北大学, 宮城県.
4. K. Hitomi, Y. Kikuchi, M. Nakhostin, T. Shoji and K. Ishii, "Double-sided TlBr strip detectors for SPECT application," Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine, Barcelona, Spain, Oct. 11, 2009.
5. K. Hayakawa, K. Hitomi, T. Shoji, C. Onodera, "Photoluminescence Analysis of TlBr Crystals for Radiation Detector Applications," 2009 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Orlando, USA, Oct. 28, 2009.

6. 田中知将, 早川健太郎, 庄司忠良, 人見啓太朗, 小野寺力, “放射線検出器に用いられるTlBr結晶の評価,” 第57回応用物理学関係連合講演会, 2010年3月18日, 東海大学, 神奈川県.
7. K. Hitomi, Y. Kikuchi, T. Shoji and K. Ishii, “Evaluation of TlBr detectors with Tl electrodes,” SPIE Optics+Photonics Conference 7449, San Diego, USA, Aug. 12, 2008.
8. K. Ishii, K. Hitomi, M. Nakhostin, Y. Kikuchi, M. Fujiwara, H. Yamazaki, S. Matsuyama and A. Terakawa, “Prototype of TlBr detector array for ultra high resolution PET,” 2008 Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and 16th Room Temperature Semiconductor Detector Workshop, Dresden, Germany, Oct. 23, 2008.
9. 人見啓太朗, 庄司忠良, “電極反応によるTlBr検出器のポラリゼーション現象の抑制,” 第69回応用物理学学会学術講演会, 2008年9月3日, 中部大学, 愛知県.
10. 人見啓太朗, 菊池洋平, 石井慶造, 庄司忠良, “TlBr検出器及びCdTe検出器の比較研究,” 日本原子力学会 2008年秋の大会, 2008年9月4日, 高知工科大学, 高知県.
11. 早川健太郎, 人見啓太朗, 庄司忠良, “TlBr検出器における暗電流の経時変化,” 第56回応用物理学関係連合講演会, 2009年4月1日, 筑波大学, 茨城県.
12. 庄司忠良, 工藤哲也, 伊藤翼, 早川健太郎, 人見啓太朗, 小野寺力, “半導体検出器に用いられるTlBr結晶のPL評価,” 第56回応用物理学関係連合講演会, 2009年4月1日, 筑波大学, 茨城県.

6. 研究組織

(1)研究代表者

人見 啓太朗 (HITOMI KEITARO)

東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソ

トープセンター・准教授

研究者番号：60382660