

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02523

研究課題名(和文) 超高感度半導体臭化タリウムを用いた散乱吸収一体型コンプトンカメラの開発

研究課題名(英文) Development of a Compton camera using a single scattering-absorption detector fabricated from an ultrasensitive thallium bromide semiconductor

研究代表者

人見 啓太郎 (Hitomi, Keitaro)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60382660

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,600,000円

研究成果の概要(和文)：超高感度の臭化タリウム(TlBr)半導体を用いて、ガンマ線のイメージングが可能なコンプトンカメラを開発した。TlBr素材の純化、結晶育成、検出器製作を一貫して行い、ガンマ線検出器を製作した。TlBr検出器を用いて¹³⁷Cs線源からの662 keVのガンマ線と⁶⁰Co線源からの1173 keVおよび1333 keVのガンマ線のイメージングに成功した。開発した検出器は核医学診断装置の高度化などへの応用が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では素材の純化から検出器製作までを一貫して行い、ガンマ線のイメージングへの応用が可能な高感度のTlBrガンマ線検出器の開発を行った。本研究で得られた成果は純国産の世界最高水準の新しい半導体検出器技術である。本研究の成果は核医学診断装置においては複数元素同時イメージング、粒子線治療においては線量分布の可視化につながる技術であり、その応用範囲は極めて広く、学術的・社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：A Compton gamma-ray imaging camera was developed using an ultrasensitive compound semiconductor, thallium bromide (TlBr). Gamma-ray detectors were fabricated from TlBr crystals grown from purified materials in this study. Images of gamma-rays of 662 keV from a ¹³⁷Cs source and gamma-rays of 1173 keV and 1333 keV from a ⁶⁰Co source were successfully obtained from a pixelated TlBr detector with a Compton imaging method. Because TlBr detectors exhibit high stopping power for high-energy gamma rays, the developed detectors are promising for applications in nuclear medicine for imaging of gamma rays from multiple elements, proton therapy for estimation of dose distributions, and gamma-ray imaging spectroscopies.

研究分野：放射線計測学

キーワード：コンプトンカメラ 臭化タリウム ガンマ線 半導体検出器 位置敏感型検出器 結晶成長

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) コンプトンカメラに対する期待

ガンマ線は透過力が高い放射線である。ガンマ線を画像化するカメラを用いる事により、人体内部のガンマ線を放出する薬剤などを可視化することができる。このような核医学診断を行う手法の代表的なものとして positron emission tomography (PET) や single photon emission computed tomography (SPECT) が挙げられる。

PET は放射性薬剤から放出される陽電子が対消滅を起こし、511 keV のガンマ線が 180 度反対方向に 1 対放出されることを利用してガンマ線放出核種の画像化を行う。対消滅により生じた 511 keV のガンマ線を対向する検出器で検出することにより、その直線上にガンマ線放出薬剤の位置を求めることができる。一方、SPECT では放射性薬剤から放出されるガンマ線をピンホールやコリメータを用いて入射方向を制限して検出することにより画像化を行う。PET や SPECT はガンや脳疾患の診断に広く利用されている。しかしながら、PET は 511 keV のガンマ線を放出する薬剤のみしか画像化ができず、SPECT はピンホールやコリメータで十分に吸収できる低エネルギーのガンマ線を放出する薬剤のみしか画像化できない。

近年、核医学診断においては複数の元素から放出されるガンマ線の同時イメージングや粒子線治療においては治療時に発生する高エネルギーガンマ線を検出する事による治療線量分布の可視化が求められている。しかしながら、既存の PET 装置は 511 keV のガンマ線のみ、SPECT 装置は低エネルギーのガンマ線のみしかイメージングができず、これらの要請に応えることができない。

ガンマ線は物質中で電子により散乱(コンプトン散乱)される事がある。この際、入射ガンマ線はエネルギーの一部を電子に渡し、ある角度で散乱される。この付与エネルギーと散乱角度には一定の関係がある。検出器でこの情報を計測することにより、ピンホール等を用いることなく入射ガンマ線の画像化が可能となる。このような原理のガンマ線のカメラはコンプトンカメラと呼ばれている。コンプトンカメラはガンマ線のエネルギーを選ばずにイメージングが行えるため、複数元素同時イメージングや高エネルギーガンマ線のイメージングへの応用が期待されている。

コンプトンカメラを構成するガンマ線検出器には高いエネルギー決定精度(エネルギー分解能)と高い位置決定精度(位置分解能)が求められる。ガンマ線の検出にはシンチレーション検出器や半導体検出器が主に利用されている。シンチレーション検出器や半導体検出器を用いたコンプトンカメラが開発され実用化がなされている。しかし、シンチレーション検出器は大型化が容易であるがエネルギー分解能、位置分解能が低いという欠点がある。一方で Ge、CdTe、CdZnTe といった半導体はエネルギー分解能、位置分解能に優れているが、検出効率が低いという欠点がある。このため、エネルギー分解能および位置分解能に優れ、高い検出効率を有する新しい検出器がコンプトンカメラ開発に求められていた。

(2) 超高感度半導体 TlBr を用いた解決策

臭化タリウム(TlBr)は化合物半導体であり、高い原子番号(Tl が 81 番、Br が 35 番)と鉄と同程度の高い密度(7.56 g/cm³)を有するためガンマ線の検出効率が極めて高い。また、TlBr は融点が 460 と低いために結晶の育成が容易に行え、低コストでのセンサー製作が期待できる。申請者は TlBr 結晶の育成からガンマ線検出器製作を一貫して行い、エネルギー分解能および位置分解能に優れた小規模のガンマ線検出器の開発に成功していた。この TlBr 検出器は 1 つの検出器内でガンマ線の散乱・吸収位置と付与エネルギーを決定することができるので、この研究成果を応用することにより高感度のコンプトンカメラの実現を目指すこととした。

2. 研究の目的

本研究は超高感度半導体 TlBr を用いてガンマ線検出器を開発し、高エネルギーのガンマ線に対して高感度を示す散乱吸収一体型のコンプトンカメラの実現を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 結晶育成

ガンマ線検出器用の半導体結晶には高い電気的特性が求められる。TlBr 結晶は高純度化することにより電気的特性が改善する。本研究では市販の TlBr 素材を石英管中に封入して素材の純化を行った。素材の一部を電気炉で溶融し、溶融帯を一方向に移動させる帯域精製を繰り返して高純度化を図った。純化後に電気炉の移動速度を低速にして一回帯溶融を行い結晶育成を行った。また、純化した素材を用いて、大型化が容易な垂直ブリッジマン法を用いた結晶育成も行った。

(2) 検出器製作

育成した TlBr 結晶を用いてガンマ線検出器を製作した。ダイヤモンドワイヤーソーを用いて TlBr 結晶の切り出しを行った。機械研磨などを施した結晶表面に真空蒸着法を用いて電極を形成した。電極材料には Tl 金属などを用いた。電極と信号引き出し導線をカーボンペーストで接続することにより検出器とした。

(3) 検出器評価

ガンマ線検出特性の評価

密封ガンマ線源を用いて製作した TlBr 検出器の評価を行った。検出器に電荷有感型前置増幅器を接続し、その出力信号をデジタイザで波形取り込みし、パーソナルコンピュータで信号処理を行い、ガンマ線スペクトルやコンプトンイメージを得た。

耐放射線性の評価

半導体は放射線の照射によって損傷を受ける可能性がある。TlBr 検出器の耐放射線性を評価するために名古屋大学コバルト 60 ガンマ線照射室において TlBr 検出器にガンマ線照射を行った。照射前後の検出器特性を比較することで検出器の耐放射線性の評価を行った。

陽子線による即発ガンマ線計測

陽子線治療における線量分布の可視化のための基礎実験として、水に陽子線を照射することにより発生する即発ガンマ線の計測実験を行った。東北大学の 930 型 AVF サイクロトロンを用いて 80 MeV の陽子線を水に照射し、発生した即発ガンマ線の分布を鉛コリメータと TlBr 検出器を用いて測定した。

4. 研究成果

(1) 結晶育成

図 1 および図 2 に帯溶融法および垂直ブリッジマン法を用いて得られた TlBr 結晶の例を示す。帯溶融法では素材の純化と結晶育成が同一容器で行えるので、外部からの不純物の混入が少ないという長所があるが、大体积の結晶が得にくいという欠点があった。本研究では電気炉に傾斜を設けて結晶の先端部分に素材が集まるように工夫をした。この改善により、直径 18 mm、直胴部 30 mm の大型結晶を得ることに成功した。垂直ブリッジマン法は大型の結晶を得やすいという特長があるが、純化と結晶育成を別容器で行う必要がある。本研究では十分に純化を行った素材を用いることで、直径 1 インチ、直胴部 20 mm の高純度大型 TlBr 結晶を得ることに成功した。

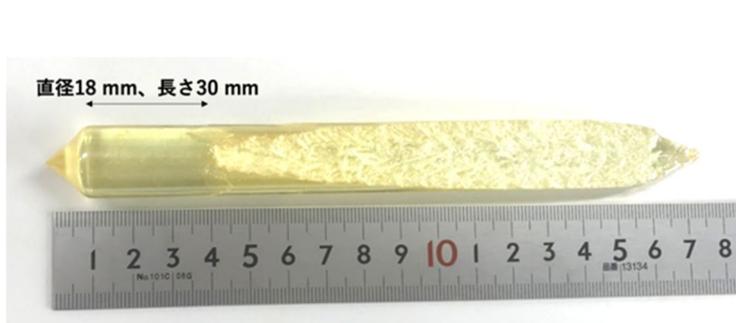


図 1. 帯溶融法で育成した TlBr 結晶

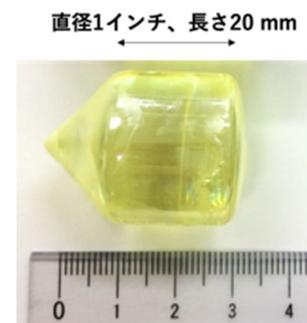


図 2. 垂直ブリッジマン法で育成した TlBr 結晶

(2) 検出器製作

図 3 に製作した TlBr 検出器の例を示す。図 3(a) は検出器の両面に幅 1 mm のストリップ電極を有する両面ストリップ型検出器である。表面と裏面のストリップ電極が直交するように配置されており、ガンマ線の相互作用位置が計測できるようになっている。結晶のサイズは 6.5 mm × 6.5 mm × 5 mm であった。図 3(b) は 1 mm 角のピクセル電極を 9 個有するピクセル型検出器である。ピクセルの位置からガンマ線の相互作用位置を決定することができる。結晶のサイズは 6.5 mm × 6.5 mm × 5.5 mm であった。図 3(c) は 2 mm 角のピクセル電極を 9 個有するピクセル型検出器である。結晶のサイズは 12 mm × 12 mm × 11 mm であった。結晶育成技術の改善を行うことで大型の TlBr 検出器の開発に成功した。

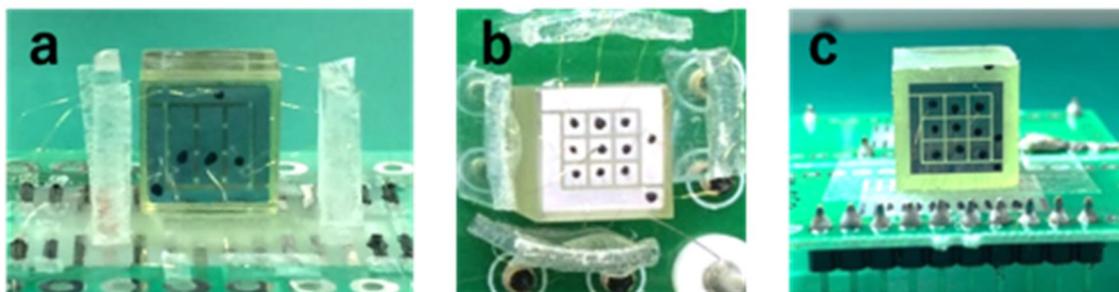


図 3. 製作した TlBr 検出器

(3) 検出器評価

ガンマ線検出特性

結晶サイズ 6.5 mm × 6.5 mm × 5.5 mm、ピクセルサイズ 1 mm 角のピクセル電極を 9 個有する TlBr 検出器の正面から 10 cm の位置に ^{60}Co ガンマ線源を置き、 ^{60}Co 線源から横に 10 cm の位置に ^{137}Cs ガンマ線源を置いたときに得られたガンマ線スペクトルとガンマ線イメージを図 4 および図 5 に示す。図 4 から分かるように TlBr 検出器から ^{137}Cs の 662 keV のガンマ線ピークと ^{60}Co からの 1333 keV と 1173 keV のガンマ線ピークが明確に得られた。また、図 5 に示すように TlBr 検出器を用いて正面の位置に置いた ^{60}Co 線源(a)と 45 度の位置に置いた ^{137}Cs 線源(b)のコンプトンイメージを取得することに成功した。

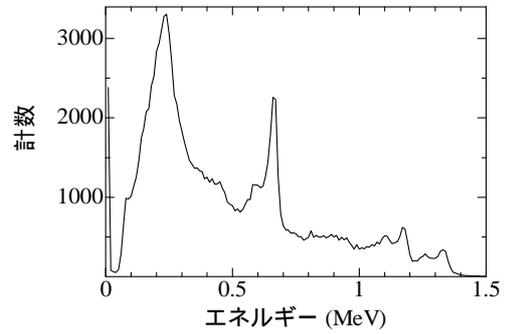


図 4. TlBr 検出器から得られたガンマ線スペクトル (^{137}Cs , ^{60}Co)

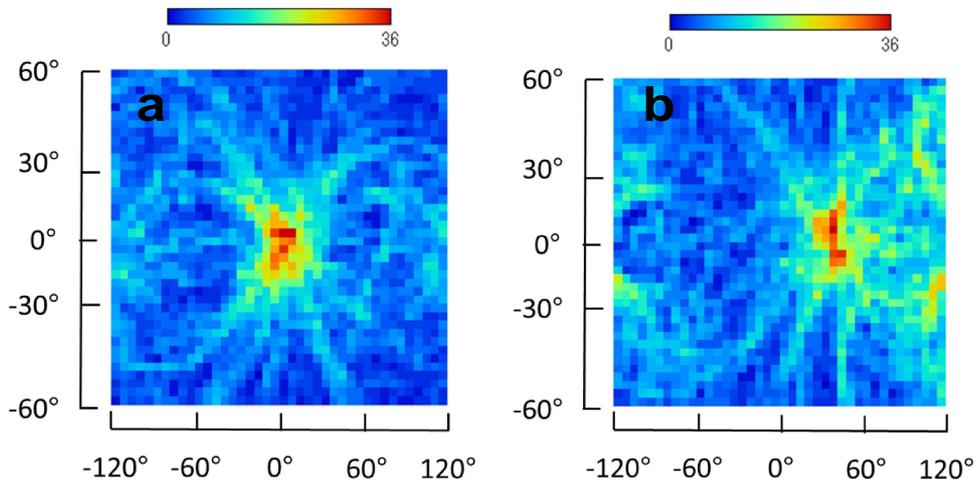


図 5. TlBr 検出器から得られたコンプトンイメージ (^{60}Co 線源(a), ^{137}Cs 線源(b))

図 6 は結晶サイズ 12 mm × 12 mm × 11 mm、ピクセルサイズ 2 mm 角のピクセル電極を 9 個有する TlBr 検出器から得られた ^{137}Cs ガンマ線スペクトルである。図から分かるように TlBr 結晶が 11 mm と非常に厚いにも関わらず、全ピクセルから明確な 662 keV のガンマ線ピークを得ることに成功した。これは育成した TlBr 結晶が非常に高品質であることを示している。

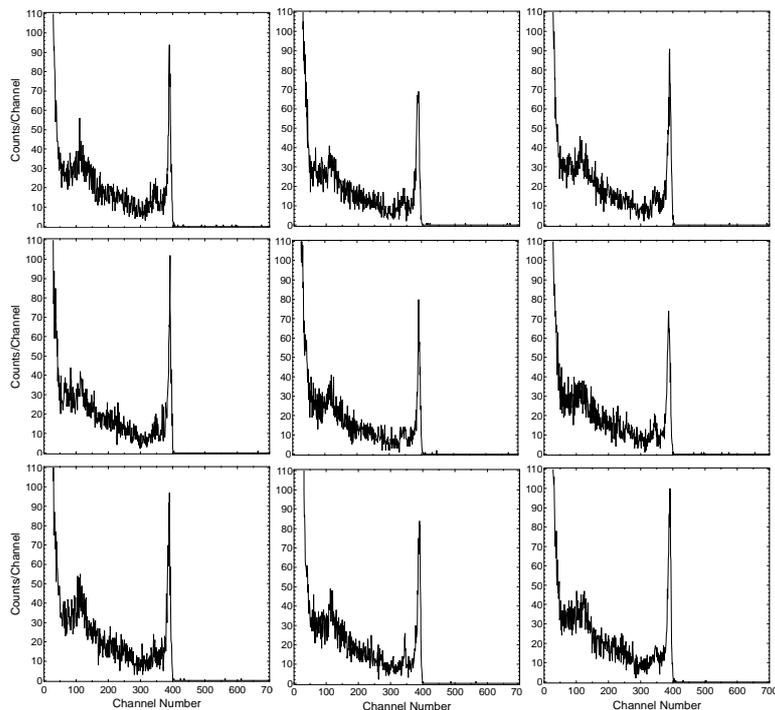


図 6. ピクセル型 TlBr 検出器から得られた ^{137}Cs ガンマ線スペクトル

耐放射線性

図7はTlBr 検出器に 68 kGy の高線量のガンマ線を照射した前後で得られた ^{137}Cs ガンマ線スペクトルである。図から分かるように TlBr 検出器はガンマ線照射後も良好に動作し、大幅な特性劣化を示さなかった。このことから、TlBr 検出器は高い耐放射線性を有していることが分かった。

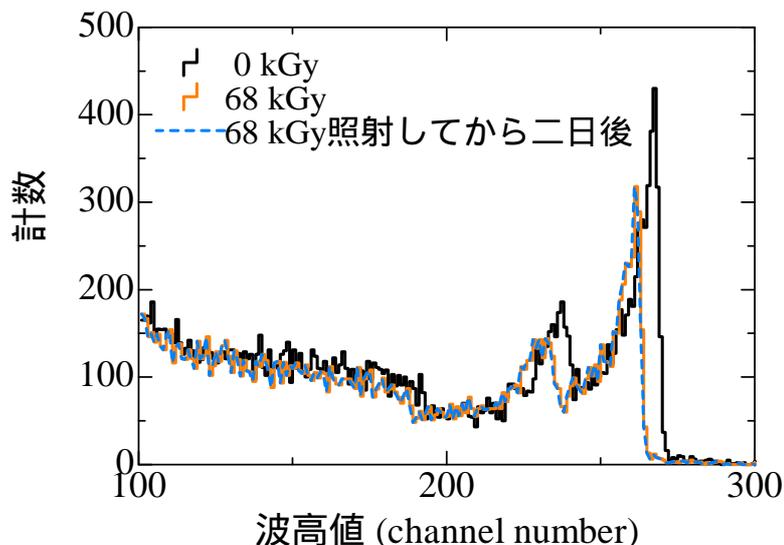


図7. 吸収線量 68 kGy のガンマ線照射前後における TlBr 検出器の特性変化

陽子線による即発ガンマ線測定

図8は80 MeVの陽子線を水に照射した際に得られた指頭型電離箱による線量分布と、鉛コリメータとTlBr 検出器を用いて得られたガンマ線カウント数の位置依存性である。図からわかるように線量分布のピーク位置付近でTlBr 検出器のカウント数が急激に減少していることが分かる。このことから、陽子線の飛程をTlBr 検出器を用いて推定できることが分かった。

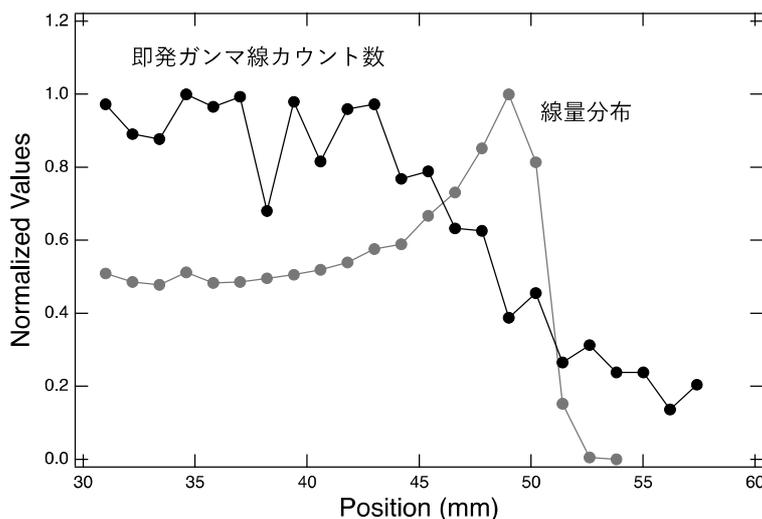


図8. 80 MeV 陽子線を水に照射した際に得られた線量分布と TlBr 検出器から得られたカウント数

(4) まとめ

本研究では素材純化から結晶育成を行い、高性能の大型 TlBr 検出器を開発し、ガンマ線源のコンプトンイメージングに成功したことから研究目的を達成することができた。本研究で得られた成果は純国産の世界最高水準の新しい半導体検出器技術である。本研究の成果は核医学診断装置や粒子線治療線量測定の高度化につながるものである。本研究の成果を応用して TlBr 検出器を用いた新しい核医学診断装置や粒子線治療線量測定装置を開発することが今後の展望として挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Koshimizu Masanori, Hitomi Keitaro, Nogami Mitsuhiro, Yanagida Takayuki, Fujimoto Yutaka, Asai Keisuke	4. 巻 59
2. 論文標題 Photoluminescence and scintillation of TlBr crystals at low temperatures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SCCB19 ~ SCCB19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1347-4065/ab4895	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kenichi Watanabe, Kio Matsumoto, Akira Unitani, Keitaro Hitomi, Mitsuhiro Nogami, and Winfried Kockelmann	4. 巻 -
2. 論文標題 Crystalline Characterization of TlBr Semiconductor Detectors Using Wavelength-resolved Neutron Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） -	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Masanori Koshimizu, Yusa Muroya, Shinichi Yamashita, Mitsuhiro Nogami, Keitaro Hitomi, Yutaka Fujimoto, and Keisuke Asai	4. 巻 -
2. 論文標題 Transient Absorption Spectroscopy of TlBr Crystals Using Pulsed Electron Beams	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） -	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 K. Hitomi, T. Higuma, H. Hosokawa, M. Nogami, A. Terakawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Prompt Gamma-Ray Detection with TlBr Detectors for Proton Radiation Therapy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CYRIC Annual Report 2016-2017	6. 最初と最後の頁 50 ~ 52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 C. Leak, W. Koehler, S. O'Neal, Z. He, K. Hitomi	4. 巻 -
2. 論文標題 Recent results from pixelated TlBr detectors with Tl electrodes operated at room-temperature	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room-Temperature Semiconductor Detector Workshop (NSS/MIC/RTSD), 2016	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/NSSMIC.2016.8069952	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Keitaro Hitomi, Nobumichi Nagano, Toshiyuki Onodera, Seong-Yun Kim, Tatsuya Ito, Keizo Ishii	4. 巻 823
2. 論文標題 Fabrication of double-sided thallium bromide strip detectors	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A	6. 最初と最後の頁 15 - 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2016.03.107	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motohiro Matsumura, Kenichi Watanabe, Atsushi Yamazaki, Akira Uritani, Norihisa Kimura, Nobumichi Nagano, and Keitaro Hitomi	4. 巻 11
2. 論文標題 Study on Effects of Gamma-Ray Irradiation on TlBr Semiconductor Detectors	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2016), JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 30005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JSPSC.11.030005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計33件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 K. Hitomi, M. Nogami, T. Onodera, K. Watanabe, K. Matsumoto, J. Lee, K. Ishii
2. 発表標題 Characterization of 1-cm thick Thallium Bromide Gamma-Ray Detectors
3. 学会等名 26th International Symposium on Room-Temperature Semiconductor X-Ray & Gamma-Ray Detectors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Watanabe ¹ , K. Matsumoto, A. Uritani, Y. Kiyanagi, K. Hitomi, M. Nogami, H. Sato, W. Kockelmann
2. 発表標題 Crystalline evaluation of TlBr semiconductor detectors using energy-resolved neutron imaging
3. 学会等名 26th International Symposium on Room-Temperature Semiconductor X-Ray & Gamma-Ray Detectors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 E. Hall, K. Hitomi, Z. He
2. 発表標題 Partial Recovery of Pixellated Thallium Bromide from Polarization through Sustained Reverse-Polarity Biasing
3. 学会等名 26th International Symposium on Room-Temperature Semiconductor X-Ray & Gamma-Ray Detectors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 越水 正典、人見 啓太郎、野上 光博、柳田 健之、藤本 裕、浅井 圭介
2. 発表標題 TlBr結晶の低温発光特性における結晶成長部位と熱履歴の影響
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺 賢一、松本 伎朗、人見 啓太郎、野上 光博、山崎 淳、吉橋 幸子、瓜谷 章
2. 発表標題 波長分解中性子イメージングによるTlBrの結晶性評価
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺 賢一、松本 伎朗、瓜谷 章、野上 光博、人見 啓太郎
2. 発表標題 波長分解中性子イメージングに基づくTlBr検出器製作過程の検討
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 越水 正典、室屋 裕佐、山下 真一、野上 光博、人見 啓太郎、藤本 裕、浅井 圭介
2. 発表標題 TlBr結晶のパルス電子ビームを用いた過渡吸収分光
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野上光博、人見啓太郎、長野宣道、小野寺敏幸、渡辺賢一、松本伎朗、伊藤辰也、金聖潤、石井慶造
2. 発表標題 大型TlBr放射線検出器の製作と評価
3. 学会等名 第79回 応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Hitomi, M. Nogami, N. Nagano, T. Onodera, K. Watanabe, N. Kimura, S. Kubo, S. - Y. Kim, T. Ito, K. Ishii
2. 発表標題 Fabrication of large volume pixelated TlBr detectors
3. 学会等名 25th International Symposium on Room-Temperature Semiconductor Detectors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野上光博、人見啓太郎、小野寺敏幸、渡辺賢一、松本伎朗、伊藤辰也、金聖潤、石井慶造
2. 発表標題 1 cm厚ピクセル型TlBr放射線検出器の製作と評価
3. 学会等名 第66回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Hitomi, M. Nogami, N. Nagano, T. Onodera, K. Watanabe, M. Matsumura, S.-Y. Kim, T. Ito, K. Ishii
2. 発表標題 Development of Thallium Bromide Detectors for Compton Imaging
3. 学会等名 24th International Symposium on Room-Temperature Semiconductor X-Ray and Gamma-Ray Detectors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Nogami, K. Hitomi, N. Nagano, T. Onodera, H. Hosokawa, T. Higuma, S.-Y. Kim, T. Ito, A. Terakawa
2. 発表標題 Evaluation of TlBr Detectors for Prompt Gamma-Ray Detection for Proton Therapy
3. 学会等名 24th International Symposium on Room-Temperature Semiconductor X-Ray and Gamma-Ray Detectors (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Hitomi, N. Nagano, T. Onodera, T. Ito, S.-Y. Kim, K. Ishii
2. 発表標題 Fabrication and Evaluation of Orthogonal-Strip TlBr Gamma-Ray Detectors
3. 学会等名 2016 IEEE SYMPOSIUM ON RADIATION MEASUREMENTS AND APPLICATIONS (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 M. Matsumura, K. Watanabe, A. Yamazaki, A. Uritani, N. Nagano, K. Hitomi
2. 発表標題 Study on Tolerance of TlBr Semiconductor Detectors to Gamma-Ray Irradiation
3. 学会等名 2016 IEEE SYMPOSIUM ON RADIATION MEASUREMENTS AND APPLICATIONS (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 人見啓太郎、長野宣道、小野寺敏幸、伊藤辰也、金聖潤、石井慶造
2. 発表標題 波形解析による臭化タリウム検出器のエネルギー分解能改善
3. 学会等名 第53回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 砂庭広季、人見啓太郎、長野宣道、木村乃久、小野寺敏幸、伊藤辰也、金聖潤、石井慶造
2. 発表標題 三次元相互作用位置情報を用いたTlBr検出器のエネルギー分解能改善
3. 学会等名 日本原子力学会2016年秋の大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松村基広、山崎淳、渡辺賢一、吉橋幸子、瓜谷章、砂庭広季、長野宣道、人見啓太郎
2. 発表標題 ピクセル型臭化タリウム半導体検出器を用いたコンプトンカメラの研究
3. 学会等名 第77回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 C. Leak, W. Koehler, S. O'Neal, Z. He, K. Hitomi
2. 発表標題 Recent Results from Pixelated TlBr Detectors with Tl Electrodes Operated at Room-Temperature
3. 学会等名 The 23rd International Symposium on Room-Temperature Semiconductor Detectors (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 M. Matsumura, K. Watanabe, A. Yamazaki, S. Yoshihashi, A. Uritani, H. Sunaba, N. Nagano, K. Hitomi
2. 発表標題 Basic Study of a Compton Scattering Camera Using a Pixelated TlBr Detector
3. 学会等名 The 23rd International Symposium on Room-Temperature Semiconductor Detectors (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 K. Hitomi, T. Onodera, N. Nagano, K. Watanabe, M. Matsumura, S.-Y. Kim, T. Ito, K. Ishii
2. 発表標題 Growth of TlBr Crystals by the Vertical Bridgman Method and the Traveling Molten Zone Method for Gamma-Ray Detector Applications
3. 学会等名 The 23rd International Symposium on Room-Temperature Semiconductor Detectors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松村 基広、渡辺 賢一、山崎 淳、吉橋 幸子、瓜谷 章、砂場 広季、長野 宣道、人見 啓太郎
2. 発表標題 ピクセル型TlBr半導体検出器を用いたコンプトンカメラの開発
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 砂庭 広季、人見 啓太郎、長野 宣道、小野寺 敏幸、金 聖潤、伊藤 辰也、木村 乃久、高坂 充、石井 慶造
2. 発表標題 三次元相互作用位置情報を用いた9ピクセル型TlBr検出器の評価
3. 学会等名 日本原子力学会2017年春の年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 人見啓太郎、長野宣道、小野寺敏幸、伊藤辰也、金聖潤、石井慶造
2. 発表標題 両面ストリップ型TlBr検出器の製作
3. 学会等名 第76回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 松村基広、山崎淳、渡辺賢一、瓜谷章、長野宣道、人見啓太郎
2. 発表標題 臭化タリウム半導体検出器の耐放射線性
3. 学会等名 第76回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 長野宣道、人見啓太郎、小野寺敏幸、伊藤辰也、金聖潤、石井慶造
2. 発表標題 TlBr検出器を用いたガンマ線CTの検討
3. 学会等名 第76回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 松村基広、山崎淳、渡辺賢一、瓜谷章、長野宣道、人見啓太郎
2. 発表標題 TI電極の臭化タリウム半導体検出器の温度特性
3. 学会等名 第63回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 人見啓太郎、長野宣道、小野寺敏幸、伊藤辰也、金聖潤、石井慶造
2. 発表標題 3 x 3ピクセル電極を有するTlBr検出器の製作
3. 学会等名 第63回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 長野宣道、人見啓太郎、伊藤辰也、金聖潤、石井慶造、小野寺敏幸
2. 発表標題 TlBrガンマ線検出器の信号処理法開発
3. 学会等名 日本原子力学会「2015年秋の大会」
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 人見啓太郎、長野宣道、小野寺敏幸、伊藤辰也、金聖潤、石井慶造
2. 発表標題 SPECT装置への応用を目指した新しい化合物半導体検出器の開発
3. 学会等名 第43回日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 人見啓太郎、長野宣道、小野寺敏幸、伊藤辰也、金聖潤、石井慶造
2. 発表標題 位置敏感型TlBr検出器の製作と評価
3. 学会等名 日本原子力学会「2016年春の年会」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 K. Hitomi, N. Nagano, T. Onodera, C. Disch, S.-Y. Kim, T. Ito, K. Ishii
2. 発表標題 Development of TlBr Gamma-Ray Detectors with Single Polarity Charge Sensing Configurations
3. 学会等名 2015 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference, and 22nd International Symposium on Room-Temperature Semiconductor X-Ray and Gamma-ray Detectors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 K. Hitomi, N. Nagano, T. Onodera, T. Ito, S.-Y. Kim, K. Ishii
2. 発表標題 Development of position-sensitive TlBr gamma-ray detectors
3. 学会等名 International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 M. Matsumura, K. Watanabe, A. Yamazaki, A. Uritani, N. Nagano, K. Hitomi
2. 発表標題 Study on the effects of exposure of TlBr semiconductor detector to gamma-ray
3. 学会等名 International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (国際学会)
4. 発表年 2016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
研究分担者	小野寺 敏幸 (Onodera Toshiyuki) (10620916)	東北工業大学・工学部・講師 (31303)	
研究分担者	渡辺 賢一 (Watanabe Kenichi) (30324461)	名古屋大学・工学研究科・准教授 (13901)	
研究分担者	金 聖潤 (Kim Seong-Yun) (50574357)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	長野 宣道 (Nagano Nobumichi) (60757673)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	