

一般セッション | II. 放射線工学と加速器・ビーム科学および医学利用：202-2 放射線物理，放射線計測

2018年9月6日(木) 10:50 ~ 11:55 | A会場 B棟 B11

**[2A06-09] 半導体検出器**

座長:神野 郁夫(京大)

10:50 ~ 11:05

[2A06] BGaN半導体検出器の基礎電気特性及び放射線検出特性評価

\*山田 夏暉<sup>1</sup>、丸山 貴之<sup>1</sup>、中川 央也<sup>1</sup>、井上 翼<sup>1</sup>、青木 徹<sup>2</sup>、中野 貴之<sup>1</sup> (1. 静大院、2. 静大電研)

---

11:05 ~ 11:20

[2A07] ダイヤモンドを用いた超高放射線場での放射線マッピング技術開発に向けた日英共同研究

\*高橋 佳之<sup>1</sup>、Hutson Chris<sup>2</sup>、高宮 幸一<sup>1</sup>、宇根崎 博信<sup>1</sup>、Scott Thomas<sup>2</sup> (1. 京都大学複合原子力科学研究所、2. South West Nuclear Hub, University of Bristol)

---

11:20 ~ 11:35

[2A08] TlBr半導体検出器の信号電荷輸送特性の温度依存性

\*小峰 良太<sup>1</sup>、HOANG Dinh Xuan<sup>1</sup>、橋本 大歩<sup>1</sup>、前畑 京介<sup>1</sup>、伊豫本 直子<sup>1</sup>、尾鍋 秀明<sup>2</sup>、人見 啓太郎<sup>3</sup>、小野寺 敏幸<sup>4</sup> (1. 九州大学、2. レイテック、3. 東北大学、4. 東北工業大学)

---

11:35 ~ 11:50

[2A09] 高線量場におけるTlBr検出器の基礎的特性評価

\*野上 光博<sup>1</sup>、人見 啓太郎<sup>1</sup>、石井 慶造<sup>1</sup>、小野寺 敏幸<sup>2</sup>、渡辺 賢一<sup>3</sup>、鳥居 建男<sup>4</sup>、佐藤 優樹<sup>4</sup>、谷村 嘉彦<sup>4</sup>、川端 邦明<sup>4</sup>、高橋 浩之<sup>5</sup> (1. 東北大学、2. 東北工業大学、3. 名古屋大学、4. 日本原子力研究開発機構、5. 東京大学)

---

11:50 ~ 11:55

座長持ち時間

## BGaN 半導体検出器の基礎電気特性及び放射線検出特性評価

Electric characteristics and radiation detection characteristics of B GaN semiconductor detectors

\*山田 夏暉<sup>1</sup>, 丸山 貴之<sup>1</sup>, 中川 央也<sup>1</sup>, 井上 翼<sup>1</sup>, 青木 徹<sup>2</sup>, 中野 貴之<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 静大院, <sup>2</sup> 静大電研

我々は新規中性子検出器として B GaN 半導体検出器を提案し、開発を行っている。これまでの研究において、提案する検出原理について検証及び実証を行ってきた。本研究では、中性子検出効率に着目し作製された厚膜 B GaN 検出器において放射線検出特性を評価した。

**キーワード** : B GaN, 中性子検出, 中性子検出器, 半導体検出器

**1. 緒言** 近年、中性子イメージング技術は新たな透過イメージング手法として、様々な分野での応用に期待が寄せられている。我々は、中性子捕獲断面積の大きい B 原子を有する III 族窒化物半導体である B GaN に着目し、B GaN 半導体を用いた中性子半導体検出器を提案している[1, 2]。これまでの研究において、B GaN ダイオードを用いた中性子捕獲信号の検出を実現している。しかしながら、現状のデバイスは中性子捕獲原子である B の含有量が少なく、十分な中性子捕獲率は得られていない。そこで我々は、結晶成長技術の開発を行い、厚膜結晶成長技術を確立した[3]。本研究では、厚結晶成長技術を用いて作製された B GaN 検出器の放射線検出特性を評価し、厚膜化による中性子特性の変化を調査した。

**2. 実験方法** 有機金属気相堆積(MOCVD)法により作製された膜厚 1.8  $\mu\text{m}$ , 5.0  $\mu\text{m}$  の B GaN 縦型 pin ダイオードを用いて、諸特性を評価した。放射線検出特性は $\alpha$ 線、 $\gamma$ 線、及び中性子線照射下において、2次元マルチチャンネルアナライザ(2D-MCA)システムを用いたエネルギースペクトル測定と PHITS コードを用いたシミュレーションにより評価した。

**3. 実験結果** 5.0  $\mu\text{m}$ -B GaN 検出器において、各入射エネルギーの $\alpha$ 線照射によるエネルギースペクトル測定を実施した。得られた結果と PHITS v3.00 のシミュレーションより、5.0  $\mu\text{m}$  の B GaN 層により 2.3 MeV 以下の $\alpha$ 線の全エネルギーが検出可能であることを確認した。図に(a)  $\gamma$ 線(60 keV)、(b)  $\alpha$ 線(2.3 MeV)、(c) 中性子線照射時における二次元エネルギースペクトル測定結果を示す。 $\gamma$ 線照射時において、暗電流に由来するノイズ領域外に検出信号は観察されず、B GaN 検出器の $\gamma$ 線検出感度が低いことが示された。 $\alpha$ 線照射時においては、250-500 Channel、0.5-1.0  $\mu\text{sec}$  の範囲に $\alpha$ 線検出に由来するピークが確認された。中性子線照射時においては、 $\alpha$ 線照射時に観察されたピークと同範囲に検出信号が確認された。これらの結果から、B(n,  $\alpha$ )Li 反応により生じる 2.31 MeV のエネルギーを 5.0  $\mu\text{m}$  の B GaN 層で検出していることが示唆された。中性子検出信号について膜厚 5.0  $\mu\text{m}$ 、1.8  $\mu\text{m}$  の B GaN 検出器による比較を行ったところ、膜厚増加に伴い検出信号数が約3倍となっていることが確認された。検出効率向上は、B 含有量が増加し中性子捕獲率が向上したことに起因している。これらの結果より、中性子検出効率の向上に B GaN 層の厚膜化が有効であり、更なる検出感度の向上に向けた厚膜化の重要性が示唆された。

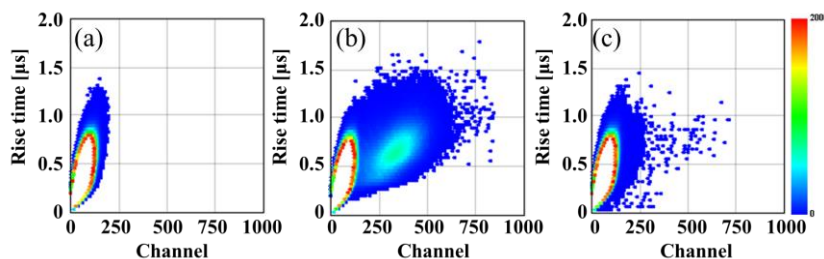


図. 5.0  $\mu\text{m}$ -B GaN 検出器による二次元エネルギースペクトル  
(a)  $\gamma$ 線照射時 (b)  $\alpha$ 線照射時 (c) 中性子線照射時

**参考文献** [1] K. Atsumi, *et. al.*, APL Mater. **2**, 032106 (2014) [2] T. Nakano, *et. al.*, 2018 IEEE-RTSD, R-17-4  
[3] 丸山他, 2018 年応用物理学会春季学術会, 19p-P7-78

**謝辞** 本研究は中部電力安全技術研究公募研究の成果であり、物質・デバイス領域共同研究拠点・アライアンス「CORE ラボ」、科研費補助金(基盤研究(B):16H03899)、近畿大学原子炉等共同利用研究の支援により行われた。

\*Natsuki Yamada<sup>1</sup>, Takayuki Maruyama<sup>1</sup>, Hisaya Nakagawa<sup>1</sup>, Yoku Inoue<sup>1</sup>, Toru Aoki<sup>2</sup> and Takayuki Nakano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shizuoka Univ., <sup>2</sup>R.I.E. Shizuoka Univ.

## ダイヤモンドを用いた超高放射線場での放射線 マッピング技術開発に向けた日英共同研究

A joint Japan-UK research project for radiation mapping technology development  
using diamond in ultra-high dose environments

\*高橋 佳之<sup>1</sup>, Chris Hutson<sup>2</sup>, 高宮 幸一<sup>1</sup>, 宇根崎 博信<sup>1</sup>, Thomas Scott<sup>2</sup>

<sup>1</sup>京大複合原子力科学研究所, <sup>2</sup>ブリストル大学 (英国)

東京電力(株)福島第一原子力発電所や英国のセラフィールド施設に代表される多量の核燃料物質・放射性物質を内包する高線量条件下にある原子力施設の廃止措置に向けた基盤的研究として、耐高放射線の遠隔駆動型放射線検出器システムの開発を英国・ブリストル大と京都大学が協力して実施した。新しく製作した検出器をもちいて、京都大学複合原子力科学研究所のコバルト60ガンマ線照射場を用いてシステムの特性や高線量条件下での測定を実施した。

**キーワード:** 廃止措置、高放射線場、ダイヤモンド、小型放射線検出器

**1. 緒言** 東電福島第一原子力発電所や英国セラフィールド施設のような多量の核燃料物質・放射性物質が存在する高線量条件下での廃止措置に向けた基盤研究として、耐高放射線の放射線検出器システムの開発を英国・ブリストル大と京都大学が協力して実施した。検出器は、英国ブリストル大で開発が進められている leakage current 型ダイヤモンド検出器を使用し、京都大学複合原子力科学研究所(以下、京大複合研)が保有する各種の放射線照射場を用いてシステムの特性や高線量条件下での適用性に関する課題抽出を行い、検出器システムの機能向上を計るための基礎データを取得することを目的とした。

**2. 実験** 英国ブリストル大学側で開発したダイヤモンド検出器(図1)と信号処理システムプロトタイプを用いて、京大複合研のコバルト60ガンマ線照射装置を用いて低～高線量におけるガンマ線照射実験を実施した。検出器と線源からの距離を変えながら、0.1～1000Gy/h までの高ガンマ線量に対する検出器からの電流値測定と放射線耐性の確認を行った。

**3. 結果・考察** 図2に検出器から得られた電流値と、事前に測定した線量率参照値との相関図を示す。ダイヤモンド検出器の個体差の解消や暗電流測定の精度向上等の技術課題が明らかと

なったが、図2より、線量率との比例関係が確認でき、本システムの有効性を確認することができた。また、この成果を踏まえ、中性子検出器としての新しい応用法について検討を行い、今後の研究課題を見出すことができた。この基礎実験の結果を基に、英国セラフィールド施設において照射実験を実施したところ、参照値(TLD)との一致が確認され、ダイヤモンド検出器の有効性を確認することができた。発表では、形状の異なる検出器毎の比較や実験結果の詳細について報告する。



図1 ダイヤモンド検出器

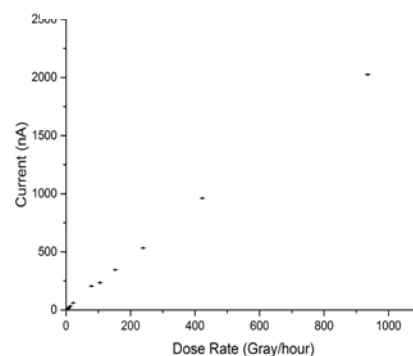


図2 線量率と検出器電流値との相関図

\*Yoshiyuki Takahashi<sup>1</sup>, Chris Hutson<sup>2</sup>, Koichi Takamiya<sup>1</sup>, Hironobu Unesaki<sup>1</sup>, Thomas Scott<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Inst. Integrated Rad. Nucl. Sci., Kyoto U., <sup>2</sup> South West Nuclear Hub, University of Bristol

## TlBr 半導体検出器の信号電荷輸送特性の温度依存性

Temperature dependence of signal charge transport characteristic of TlBr semiconductor detector

\*小峰 良太<sup>1</sup>, HOANG Dinh Xuan<sup>1</sup>, 橋本 大歩<sup>1</sup>, 前畑 京介<sup>1</sup>, 伊豫本 直子<sup>1</sup>, 尾鍋 秀明<sup>2</sup>,  
人見 啓太郎<sup>3</sup>, 小野寺 敏行<sup>4</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>レイテック, <sup>3</sup>東北大学, <sup>4</sup>東北工業大学

室温から 77 K までの温度領域において TlBr 結晶を電離箱モードで動作し、電荷有感型前置増幅器から出力される $\gamma$ 線検出信号パルスの立ち上がり部分を解析することによって結晶中の電荷輸送特性の温度依存性を調べた。

**キーワード**：半導体検出器，化合物半導体

臭化タリウム(TlBr)半導体検出器は、バンドギャップが 2.68 eV と広く、結晶を構成する Tl と Br の原子番号が 83 と 35 と高く、また、密度が 7.56 g/cm<sup>3</sup> と大きいといった特徴を有しており、室温動作可能な高検出効率高エネルギー分解能 $\gamma$ 線スペクトル計測用半導体検出器として研究が進められている。TlBr 半導体検出器の電荷の輸送特性は結晶を純化することにより向上し、純度の高い TlBr 結晶を用いた TlBr 半導体検出器では、室温において 662 keV の $\gamma$ 線に対して 1 %台のエネルギー分解能が達成されている[1]。しかし、 $\gamma$ 線のエネルギー付与によって生成された信号電荷の輸送過程が解明されておらず、エネルギー分解能の理論的限界値が明確になっていない。

そこで、本研究では 3 mm X 3 mm X 3 mm の TlBr 結晶を、室温から 77 K までの温度領域において電離箱モードで動作し、電荷有感型前置増幅器から出力される $\gamma$ 線検出パルス信号の立ち上がり部分を解析することによって結晶中の電荷輸送特性の温度依存性を調べた。図 1 に構築した回路系を示す。AMPTEK 社製電荷有感型前置増幅器 IC A250 を利用し、TlBr 結晶と初段 FET は冷却部に組み込んだ。 $\gamma$ 線エネルギー付与により生成された電子あるいは正孔は、電界により結晶の電極に向かって輸送される。このとき、電荷有感型前置増幅器から出力される電圧信号パルスの立ち上がり部分には、結晶中を移動する電荷により電極に誘導される電荷の情報が含まれる。そこで、電荷有感型前置増幅器から出力される電圧信号パルスを温度毎に PC に記録し、電圧信号パルスの立ち上がり部分の解析を行うことで電荷輸送特性の温度依存性を調べた。

### 参考文献

[1] K. Hitomi et al., Nucl. Instrum. Methods. A747, 7, (2014).

\*Ryota Komine<sup>1</sup>, Dinh Xuan HOANG<sup>1</sup>, Ayumu Hashimoto<sup>1</sup>, Keisuke Maehata<sup>1</sup>, Naoko Iyomoto<sup>1</sup>, Hideaki Onabe<sup>2</sup>,  
Keitaro Hitomi<sup>3</sup> and Toshiyuki Onodera<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kyushu Univ., <sup>2</sup>Raytech, <sup>3</sup>Tohoku Univ., <sup>4</sup>Tohoku Inst. Tech

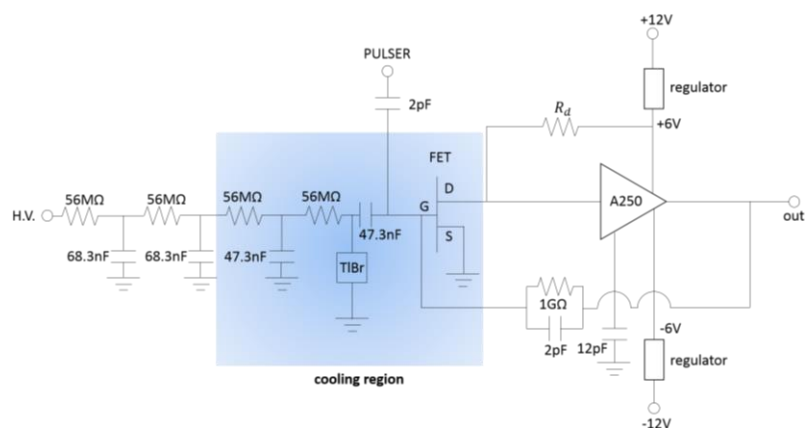


図 1 TlBr 半導体検出器用電荷有感型前置増

## 高線量場における TlBr 検出器の基礎的特性評価

Evaluation of fundamental characteristics of TlBr detectors in intense radiation fields

\*野上 光博<sup>1</sup>, 人見 啓太郎<sup>1</sup>, 鳥居建男<sup>2</sup>, 佐藤優樹<sup>2</sup>, 谷村嘉彦<sup>2</sup>, 川端邦明<sup>2</sup>, 渡辺賢一<sup>3</sup>

小野寺敏幸<sup>4</sup>, 長野宣道<sup>1</sup>, 金聖潤<sup>1</sup>, 伊藤辰也<sup>1</sup>, 石井 慶造<sup>1</sup>, 高橋浩之<sup>5</sup>

<sup>1</sup>東北大学, <sup>2</sup>日本原子力開発研究機構, <sup>3</sup>名古屋大学, <sup>4</sup>東北工業大学, <sup>5</sup>東京大学

高線量場でのガンマ線計測を目指し、極小有感体積(0.5 mm × 0.5 mm × 1.8 mm)の臭化タリウム(TlBr)検出器の製作を行った。名古屋大学コバルト 60 照射室にて、製作した検出器に 11 mSv/h のガンマ線を照射したところ、高線量場においても計測が可能なことを確認した。

**キーワード**: 放射線計測、臭化タリウム(TlBr)、高放射線場、極小放射線検出器

ガンマ線スペクトロメーター

### 1. はじめに

臭化タリウム(TlBr)は高原子番号の元素(Tl: 81, Br: 35)から構成され、かつ高密度(7.56 g/cm<sup>3</sup>)である。そのため、一般的な半導体放射線検出器の材料である CdTe や Ge より、ガンマ線の吸収効率が高い。また、極小有感体積の検出器にすることで、検出器へ入射するガンマ線の数減らすことができ、高線量場においてもガンマ線計測を行える可能性がある。そこで本研究では、2018 年の春の年会での発表時(2H08)より、さらに極小体積の検出器を製作し、名古屋大学コバルト 60 照射室にて、ガンマ線照射実験を行った。

### 2. 極小有感体積 TlBr 検出器の製作と評価

TlBr 検出器の製作は TlBr 結晶の育成、切断、研磨、電極の蒸着、基板への設置の順で行った。Fig.1 は製作した TlBr 検出器である。検出器の有感部サイズは 0.5 mm × 0.5 mm × 1.8 mm である。陽極は 1 ピクセル、ガードリングを有し、陰極は平板電極である。電極材料には Tl を使用している。製作した TlBr 検出器の <sup>60</sup>Co のガンマ線に対する吸収エネルギーを PHITS により計算した結果を Fig.2 に示す。製作した極小 TlBr 検出器を用いて、名古屋大学コバルト 60 照射室にて 11 mSv/h のガンマ線照射実験を行った。Fig.3 はアノードより得られたスペクトルである。スペクトル計測は行えたが、<sup>60</sup>Co のピークは得られなかった。原因としては、<sup>60</sup>Co のガンマ線のエネルギーが高いことと散乱線の影響が考えられる。今後は、さらに極小体積の TlBr 検出器の製作と <sup>137</sup>Cs を用いた検出器の評価を行う予定である。

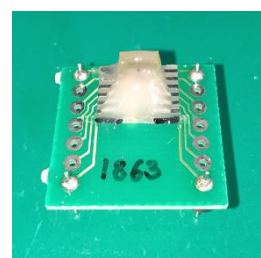


Fig.1 製作した  
TlBr 検出器

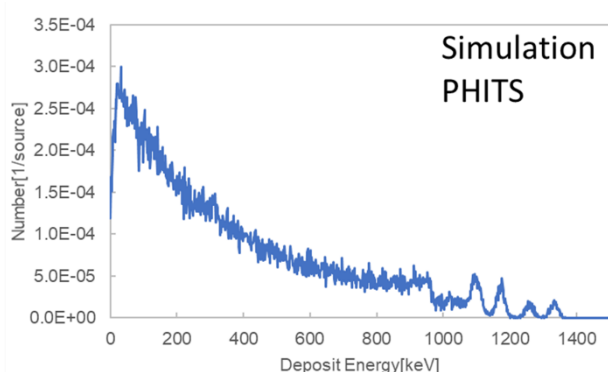


Fig.2 PHITS の計算結果

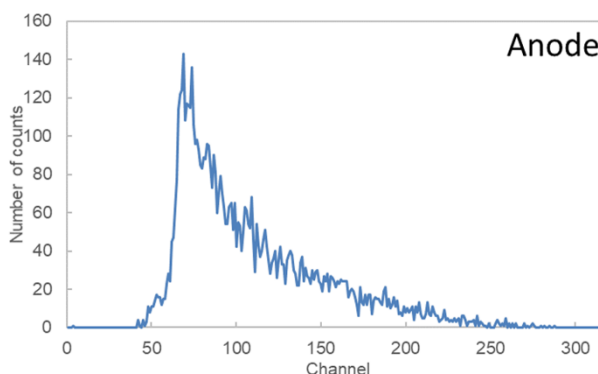


Fig.3 アノードスペクトル

\*Mitsuhiro Nogami<sup>1</sup>, Keitaro Hitomi<sup>1</sup>, Tatsuo Torii<sup>2</sup>, Yuki Sato<sup>2</sup>, Yoshihiko Tanimura<sup>2</sup>, Kuniaki Kawabata<sup>2</sup>, Kenichi Watanabe<sup>3</sup>  
Toshiyuki Onodera<sup>4</sup>, Nobumichi Nagano<sup>1</sup>, Seong-Yun Kim<sup>1</sup>, Tatsuya Ito<sup>1</sup>, Keizo Ishii<sup>1</sup> and Hiroyuki Takahashi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>JAEA, <sup>3</sup>Nagoya Univ., <sup>4</sup>Tohoku Inst. Tech., <sup>5</sup>The Univ. of Tokyo