

# Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ナノ粒子添加 PVK-DPA プラスチックシンチレータの X 線検出特性 X-ray Detection Capabilities of PVK-DPA-based plastic scintillators loaded with Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles

越水正典<sup>1</sup>, 小松崎崇介<sup>2</sup>, 佐藤敦史<sup>2</sup>, 藤本裕<sup>2</sup>, 岸本俊二<sup>3</sup>, 浅井圭介<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学電子工学研究所 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

<sup>2</sup> 東北大学大学院工学研究科応用化学専攻

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-07

<sup>3</sup> 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1  
Masanori KOSHIMIZU<sup>1,\*</sup>, Shusuke KOMATSUZAKI<sup>2</sup>, Atsushi SATO<sup>2</sup>, Yutaka FUJIMOTO<sup>2</sup>, Shunji  
KISHIMOTO<sup>3</sup>, and Keisuke ASAI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Electronics, Shizuoka University,  
3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu 432-8011, Japan

<sup>2</sup> Department of Applied Chemistry, Graduate School of Engineering, Tohoku University,  
6-6-07 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 989-8579, Japan

<sup>3</sup> Institute of Materials Structure Science, High Energy Accelerator Research Organization,  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

## 1 はじめに

X 線の高効率かつ高計数率での測定は、シンクロトロン放射光における実験技術の基盤として重要であるとともに、次世代の X 線 CT 装置でも必須である。特に、高エネルギー X 線の検出においては、発光寿命の短いシンチレータを搭載したシンチレーション検出器が適している。我々のグループでは、発光寿命の短いものとしてプラスチックシンチレータをベースとした材料開発を進めている。一方で、プラスチックシンチレータの構成元素は C, H, N, O などであるため、高エネルギー X 線との相互作用確率は低い。

プラスチックシンチレータの高エネルギー X 線に対する検出効率を向上させるためには、重元素を添加することが必要となる。その方途としては二通りあり、一つは、有機金属錯体などの分子として添加する方法である。この手法では、添加量に対して溶解度の制限があることに加え、添加分子がほとんどの場合に強い消光剤として機能してしまう。もう一つが半導体や絶縁体として、化合物ナノ粒子の形態で添加する手法である[1, 2]。この手法により、溶解度の制限を超えて重元素を添加することが可能となる。また、重元素の添加量が同一であれば、ナノ粒子としての添加により、シンチレーション収率の低下は顕著に抑制される。さらに、シンチレーションの波長よりも小さい粒子の添加により、シンチレータそのものの透明性も確保可能である。

このアプローチにより、我々は、いくつかのシンチレータを開発してきた。プラスチックシンチレータで用いられる一般的なホストポリマーであるポリスチレンを用い、ZrO<sub>2</sub> [3]、HfO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> [4,5]、HfO<sub>2</sub> [6, 7]、あるいは Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [8,9] のナノ粒子を添加したプ

ラスチックシンチレータを開発してきた。その多くで、高エネルギー X 線検出用の市販プラスチックシンチレータである EJ-256 と比較し、顕著に高いシンチレーション収率および単位厚さ当たりの検出効率を実現してきた。

本研究では、シンチレーション収率のさらなる向上を企図し、ホストポリマーとして PVK (poly(9-vinylcarbazole)) を用い、DPA (diphenylanthracene) を蛍光体分子として添加したプラスチックシンチレータに Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ナノ粒子を添加したものについて、そのシンチレーション特性を解析した。

## 2 実験

超臨界水熱法により合成した表面修飾 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ナノ粒子を PVK+DPA ベースのプラスチックシンチレータに添加した。これを光電子増倍管に取り付けてシンチレーション検出器とし、その検出応答特性を Photon Factory の BL-14A にて解析した。入射 X 線エネルギーは 67.4 keV であった。

## 3 結果および考察

表 1 に、Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ナノ粒子の添加濃度が 5 および 10 wt% の場合のシンチレーション収率と 1 mm 厚さあたりの検出効率を示す。なお、シンチレーション収率については、検出信号の波高スペクトルに基づいて算出した。また、得られた値について、Pb 添加の市販プラスチックシンチレータである EJ-256 と比較した。最大のシンチレーション収率を得られたのは、Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 添加量が 10 wt% のもので、EJ-256 の約 2 倍のシンチレーション収率を得ることに成功した。また、この試料では、1 mm 厚当たりの検出効率についても、EJ-256 の約 2 倍の値を達成した。

表1 開発した Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ナノ粒子添加プラスチックシンチレータのシンチレーション収率および 67.4 keV の X 線に対する検出効率

DPA [mol%]	5 wt%		10 wt%	
	Light yield [photons/MeV]	Detection efficiency per 1 mm [%]	Light yield [photons/MeV]	Detection efficiency per 1 mm [%]
0.10	7500	2.5	7300	4.5
0.25	8700	3.2	10000	4.5
0.50	9900	2.8	9700	3.5
1.0	9300	2.0	9300	4.1
2.0	8800	3.5	9100	4.4
EJ-256	5200	2.2		

#### 4 まとめ

Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 添加プラスチックシンチレータにおいて、ポリスチレンベースの場合と比較し、PVK ベースのシンチレータで、より高いシンチレーション収率を達成した。

#### 参考文献

- [1] M. Koshimizu, *Funct. Mater. Lett.* **13**, 2030003 (2020).
- [2] M. Koshimizu, *Jpn. J. Appl. Phys.* **62**, 010503 (2023).
- [3] Y. Araya *et al.*, *Sens. Mater.* **27**, 255 (2015).
- [4] Y. Sun *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **104**, 174104 (2014).
- [5] K. Kagami *et al.*, *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* **31**, 896 (2020).
- [6] F. Hiyama *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **57**, 012601 (2018).
- [7] K. Inoue *et al.*, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **65**, 1012 (2018).
- [8] F. Hiyama *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **57**, 052203 (2018).
- [9] A. Magi *et al.*, *J. Mater. Sci. Electron.* **32**, 7987 (2021).

\* koshimizu.masanori@shizuoka.ac.jp