

有機半導体放射線検出器応答のエネルギー特性および感度分布評価 Evaluation of energy dependence and efficiency distribution of organic semiconductor radiation detector

高田英治^{1,*}, 錦戸文彦², 岸本俊二³

¹富山高等専門学校, 〒939-8630 富山市本郷町 13 番地

²量子科学技術研究開発機構, 〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4 丁目 9 番 1 号

³高エネルギー加速器研究機構放射光科学研究施設, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

Eiji Takada^{1,*}, Fumihiko Nishikido², Shunji Kishimoto³

¹National Institute of Technology, Toyama College, 13 Hongo-machi, Toyama, 939-8630, Japan

²National Institute of Quantum and Radiological Science and Technology, 4-9-1 Anagawa, Chiba, 263-8555, Japan

³High Energy Accelerator Research Organization, Photon Factory, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

1 はじめに

Interventional Radiography (IVR)等の医療行為における患者の被曝量測定への適用を念頭に、有機シンチレータと有機半導体光検出器 (Organic Photo Diode, OPD) を組み合わせた新しい放射線検出器に関して研究を行っている[1-3]。放射線計測分野では放射線のエネルギーの測定にニーズがあるが、現在までのところ、本検出器によりパルス計測を実現するには至っていない。そこで、エネルギー特性の異なる複数の有機半導体放射線検出器からの電流信号を用い、アンフォールディング法を併用することで放射線エネルギーの推定を行う手法について検討した。その結果、薄い遮蔽材でもエネルギー特性を変化させることの容易な、低エネルギー側では良好な推定が可能であった。

また、ピクセル型放射線検出器への拡張を目指し、有機半導体検出器の各部分にコリメートした X 線を照射した場合の電流発生量分布を測定した。有機半導体を用いる検出器ではあるが、電極や読み出しコネクタには金属が用いられており、その部分に照射した場合に電流発生量が多い結果が得られた。今後、検出器を実用化していくために有用な情報が得られた。

2 エネルギー推定の原理と可能性検討

(1) 原理と検討方法

複数の有機半導体放射線検出器の前にそれぞれ異なる遮蔽材を設置し、各検出器に異なるエネルギー依存性を持たせる。あらかじめ各検出器からの電流: I_i と各エネルギーの X 光子強度: $Y(E_j)$ の間に式(1)のような応答関数を評価しておく。測定された電流値のセットと応答関数を用い、アンフォールディング法によって光子のエネルギー分布を推定する。応答関数は実験によって求めることが望ましいが、

数が多いため全てを実験で求めることは困難である。そこで、シミュレーションでの評価可能性を検討した。

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \\ R_{n1} & \dots & \dots & R_{ij} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y(E_1) \\ Y(E_2) \\ \vdots \\ Y(E_m) \end{pmatrix} \quad (1)$$

有機半導体放射線検出器からの電流発生量に正弦があるため、あまり遮蔽性能の高い材料を遮蔽材として用いることは困難であった。ここでは、PMMA(3mm)、Ti(0.1mm、0.5mm)、Cu(0.2mm)、Zn(1.0mm)、Sn(0.1mm(Fig.8)) Pb(0.2mm)、W(0.1mm)、Al(1.5mm、3mm)、Zr(0.2mm、0.8mm)を遮蔽材として使用した。

(2) 実験結果

アンフォールディングによるエネルギー推定の可能性を検討するため、単色 X 線を用いた測定結果をもとに、エネルギーを再現する実験を行った。X 線エネルギーは、25keV、30keV、40keV、50keV、60keV とした。入射 X 線エネルギー: 25keV の測定結果のうち、電流値が 1pA 以下となった遮蔽材のデータを用いなかった場合の結果を用いずにアンフォールディングを行ったところ、図-1 が得られた。

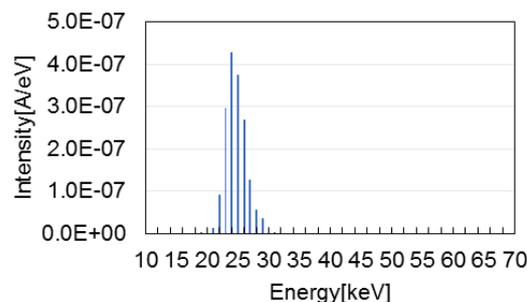


図 1 : X 線エネルギー : 25keV の場合のアンフォールディング結果

一方、50keV の時のアンフォールディング結果を図-2 に示す。25keV の時には概ね良好なエネルギー推定が行えたのに対し、50keV では分布が広がって推定された。これは遮蔽材の選択において検出器で測定可能な電流値を確保するため、厚い、または重い遮蔽材を選択しなかったことが原因である。検出器部の改善によって発生電流量を大きくすれば、これらの遮蔽材も使用可能となり、より広い範囲でのエネルギー推定が可能となるものと考えている。

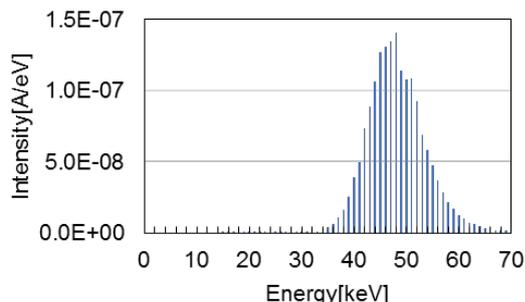


図 2 : X 線エネルギー : 50keV の場合のアンフォールディング結果

3 ピクセル型検出器開発に向けた感度分布測定

ピクセル型検出器の開発のためには、有機半導体放射線検出器の感度の均一性等について検討しておくことが必要である。そこで、 $\phi 0.8\text{mm}$ にコリメートした X 線をバルクヘテロ型素子および単結晶型素子に位置を変えて入射させ、各位置に入射した場合の電流発生量マップを測定した。

図-3 にバルクヘテロ型素子 (4mm×8mm) に鉛入りプラスチックシンチレータ (5mm×5mm) を装着した際の写真を、また図-4 に入射位置を変えて X 線を照射した際の 2 次元電流発生量分布プロファイルを示す。

今回使用した素子は、全面に IZO が成膜されたポリイミドフィルム上にバルクヘテロ型素子を形成した後、Al を蒸着して陽極とした。従って、Al および IZO 電極で挟み込まれ部分の形状は Al 電極の形状と一致する。図 3、図 4 を比較すると、Al 電極と同様の電流発生分布が図 4 に観測されていることが分かる。しかし、今回は素子の直下に 5mm×5mm の鉛入りプラスチックシンチレータを設置しているので、本来はそのシンチレータの形状が図 4 に現れるべきであるが、観測できていない。今後は素子の性能向上によって X 線照射時の発生電流の増加を試み、さらに同様の計測を行うことで素子動作の妥当性チェックおよびピクセル化素子作成に向けた基礎データ取得を行う予定である。

4 まとめ

複数の電流出力型有機半導体放射線検出器によるエネルギー推定の可能性について検討し、60keV 程度の X 線までは推定可能性を示した。しかし、現在

の素子では電流発生量が十分でないため、エネルギー推定に用いる遮蔽材の材料・厚さに制約がある。さらに高エネルギー側に適用するには、素子自体の電流発生量の向上が必要である。

また、ピクセル化素子の可能性検討のため、コリメートした X 線照射位置を変化させて電流発生量分布を測定した。電極形状が観測されるなどデータは得られたが、今後もデータの蓄積および解析が必要である。素子自体の電流発生量も改善の必要があり、素子の材料の再検討や単結晶の大型化など、性能向上に向けてさらに検討する。

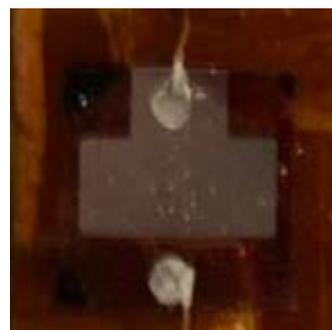


図 3 : バルクヘテロ型素子の写真

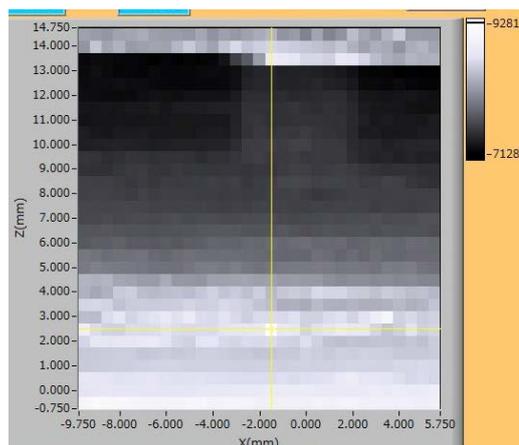


図 4 : 電流発生量分布

成果

1. “Fundamental study on estimating X-ray energy with current-output organic semiconductor radiation detectors”, Eiji TAKADA, Gen SHIKIDA et al., 2018 IEEE NSS/MIC/RTSD 2018 年 10 月.
2. “Radiation hardness of organic photodiode detectors for carbon beam irradiation”, F. Nishikido, E. Takada et al., 2018 IEEE NSS/MIC/RTSD 2018 年 10 月.
3. “有機半導体単結晶による放射線計測の検討”, 高田英治, 錦戸文彦, 鋪田 巖, 山岸正和, 岸本俊二, 2018 年 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会 2018 年 9 月.

* takada@nc-toyama.ac.jp