

| Title        | モスアイ型反射防止構造を用いたシンチレーション・<br>カウンター性能の劇的改善 |
|--------------|--|
| Author(s)    | 福留,美樹                                    |
| Citation     | 平成30年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果<br>報告書.2019    |
| Version Type | VoR                                      |
| URL          | https://hdl.handle.net/11094/71936       |
| rights       |  |
| Note         |  |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式6

| 平成30年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書   |            |            |          |                            |    |    |
|--|------------|------------|----------|----------------------------|----|----|
| ふりがな<br>氏 名  | ふくとめ<br>福留 | ) みき<br>美樹 | 学部<br>学科 | 理学部物理学科                    | 学年 | 3年 |
|  |            |            |          |                            |    | 年  |
| <sup>ふりがな</sup><br>共 同<br>研究者氏名  |            |            | 学部<br>学科 |                            | 学年 | 年  |
|  |            |            |          |                            |    | 年  |
| アドバイザー:<br>氏名  | 教員         | 福田 光順      | 所属       | 理学研究科物理学専攻                 |    |    |
| 研究課題名 モスアイ型反射防止構造を用いたシンチレーション・カウンター性能の劇<br>的改善   |            |            |          |                            |    |    |
| 研究は果の概要<br>研究成果の概要<br>研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用<br>を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティン<br>入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。) |            |            |          | こ応じて用紙<br>ライティング<br>けること。) |    |    |

研究の動機・目的

光を利用した放射線検出器であるシンチレーションカウンターのエネルギー及び時間の分解能は、 シンチレータである無機結晶が放射線と相互作用してできる光子の数に依存している。検出器の性能 を上げるために、発生する光子の数を増やす方法を検討していた折、一般的なシンチレータとして用 いられる無機結晶の屈折率は非常に大きいことに注目した。(水や大気など私たちの身の回りにある 物質の屈折率は1.0-1.5 であるのに対し、シンチレータで用いられる無機結晶の屈折率は1.8-2.2 もあ る。)それによって境界面で反射(シンチレータの屈折率 2.15 の場合は反射率 75%)が起こり、光セン サーへの集光効率を下げる一大要因となっていると考えられる。



■図1モスアイ型反射防止構造

そこで図1に示すような、表面に光の波長より短い周期(<250nm)の繰り返し構造を持つモスアイ型反 射防止構造を利用することを考えた。これにより、面の面から奥に行くに従って物質密度が上がり屈 折率が連続的に変化することで、屈折率が不連続になる境界面がなく、反射は無くなる。よって反射 による光子数の減少を防止できる可能性がある。本研究の目的は、モスアイ型反射防止構造を利用す ることでシンチレーションカウンターの性能を飛躍的に向上させることである。

研究の方法と過程

基材にモスアイ構造を形成する技術を持った企業はいくらかある。今回は三菱ケミカル株式会社が開発したモスアイ型高機能フィルム・モスマイトを用いた。このモスマイトの屈折率は1.56~1.60であるので、その上にそれより高い屈折率の流動性物質を塗った。これを挟んでシンチレータと光センサー(光電子増倍管)を接合した(図2)。高屈折率の流動性物質には SIMADZU が開発した屈折率 1.78の接触液、高屈折率の無機結晶シンチレータには GSO(Gd2SiO5:Ce)と CsI(TI)を用いた。



図2シンチレータと光センサーをモスマイトと高屈折率の流動性物質で接合する様子 そして、光センサーに高電圧(1.6-1.8kV)をかけ、標準線源(<sup>137</sup>Cs,<sup>22</sup>Na)を用いてエネルギースペ クトルを測定した。

一般的にシンチレータと光センサーはグリース(屈折率~1.5)という液状の潤滑油を用いて接合する。 以上で説明したように接合面にモスアイ型フィルムを用いると無機結晶が放射線と相互作用してでき る光の反射率が軽減し、光センサーに入射する光子数が増大する。したがってエネルギースペクトル におけるピークチャンネルが大きくなると考えられる(図 3)。



様式6

<sup>22</sup>Naの 511keV(※1)のピークの中心値 図 5(左)図 6(右)各接合状態での<sup>137</sup>Csの 662keV、 <u>×1</u> <sup>22</sup>Naは β 崩壊により陽電子を放出するが、陽電子が運動エネルギーを失った後に物質中の 電子と対消滅し、電子の静止質量(511keV)に等しい2個のγ線を反対方向に放出する。そのうち の一つが検出器に入射し、エネルギースペクトルにピークとして表れる。 接合部にグリースのみを用いた場合と、モスマイトとグリースまたは接触液を用いた場合では、 ピークの中心値にあまり違いは見られなかった。 光電面と逆の面に 空気 黒テープを貼る 屈折率:1.0 全反射 GSO 反射光は吸収され 厚さ1.4mm 屈折率:1.85 図7シンチレータ内で起きる全反射を黒テープにより防止 その理由として、図4.5に示すように光電面で反射されてもシンチレータの表面で全反射されて 再度光電面に入射する場合が考えられる。シンチレータはアルミホイルで覆われているが、間に 空気の層があり、空気とシンチレータの屈折率の差の大きさからほぼ必ず全反射を起こすと考え られる。1度目の入射における透過率が知りたいので、シンチレータの表面に黒テープを貼り、 反射された光はシンチレータ表面で吸収されるようにした。 それからもう一度測定を行なった結果を以下に示す。 GSO(光電面と逆の面に GSO(光電面と逆の面 黒テープを張った状態) ビークの中心値(光子数に立む) - ~ の中心面(不)後に対応) に 性能 モスマイト +接触液 十幅州市 +P 黒テープを張った状態 Na22 511keVのピーク 何も挟まない Cs137\_662keVのピーク

図 8(左)、9(右) 各接合状態での<sup>137</sup>Csの 662keV、 ータに黒テープ付き) <sup>22</sup>Naの 511keV のピークの中心値(シンチレ

表1に接合部がグリースのみ、モスマイトとグリース、あるいは接触液の状態におけるピークの 中心値を示す。

|              | グリースのみ   | モスマイト+グリース | モスマイト+接触液 |
|--------------|----------|------------|-----------|
| Cs137_622keV | 76.71(6) | 82.54(5)   | 84.39(8)  |
| Na22_511keV  | 59.3(1)  | 63.5(1)    | 65.3(1)   |

表1各接合状態でのピークの中心値

接合部がグリースのみの状態に対して、モスマイトとグリースの状態のピークの中心値は約7%、モスマイトと接触材の状態の場合は約10%大きくなることがわかる。

理学部 採択番号 No.3



図 10(左上),11(右上),12(左下),13(右下) 各接合状態での<sup>137</sup>Csの 662keV、<sup>22</sup>Naの 511keV、 1274keV、1785keV のピークの中心値

表2に接合部がグリースのみ、モスマイトとグリース、あるいは接触液の状態におけるピークの 中心値を示す。

|               | グリースのみ    | モスマイト+グリース | モスマイト+接触液 |
|---------------|-----------|------------|-----------|
| Cs137_622keV  | 166.9(6)  | 184.84(6)  | 231.18(9) |
| Na22_511keV   | 129.81(2) | 144.43(4)  | 169.75(6) |
| Na22_1274keV  | 313.4(1)  | 349.1(1)   | 411.2(1)  |
| Na22_12785keV | 440.3(2)  | 489.5(2)   | 578.2(2)  |

表2各接合状態でのピークの中心値

接合部がグリースのみの状態に対して、モスマイトとグリースの状態のピークの中心値は10-13%、モスマイトと接触液の状態の場合は30-40%大きくなることがわかる。

GSO のときと比べて光子数の増大率が大きくなっているが、この理由の一つはシンチレータの 大きさと考えられる。今回の実験で用いた GSO の厚さが 1.4 mm であるのに対し、CsI(Tl)の厚さ は 30 cm である。したがって光電面で反射された光子はシンチレータ内で吸収される確率が高く なる。

また、各ピークのエネルギー分解能を求めたところ驚くべき結果が得られた。まずエネルギー分 解能の求め方について説明する。

様式6



## 図 14 模式的なエネルギースペクトル

検出器を用いて放射線の円ルギーを測定する場合、単一エネルギーの放射線がそのエネルギーを 検出器中で全て失ったとしても、出力波形分布はデルタ関数にはならず図 14 に示すようにある 広がりを持つ。その第一の原因としては、光電子数のゆらぎなど検出器の固有の統計的変動が挙 げられる。その他の原因として、回路のノイズなどがある。ピーク最高値の半分の高さにおける 分布の幅を半値幅(full width ar half maximum;FWHM)とよぶ。エネルギー分解能 R は、FWHM を ピークの中央の値 $E_o$ で割った値、 $R = \frac{FWHM}{r}$ で定義される。

シンチレータと光センサーを(1)何も挟まない、(2)グリースのみ、(3)モスマイトのみ、(4)モスマ イトとグリース、(5)モスマイトと接触液という5種類の接合方法でくっつけたときの、それぞ れのピークのエネルギー分解能を以下に示す。



様式6

接合部がグリースのみの状態とモスマイトと接触液を用いた状態でのそれぞれのエネルギー分解 能を比較して、エネルギーが 500-600keV の領域ではあまり差はないが、1MeV 以上になるとモ スマイトと接触液を用いて測定したときの方がエネルギー分解能が良くなっていることがわか



図 19 各接合状態での透過する光の

## 入射角度の範囲

エネルギー分解能が小さくなった理由として、光センサーに入射する光子数が増えたことの他に 以下のようなことが挙げられる。モスマイトと高屈折率の接触液を用いた場合は、シンチレータ と光センサーの屈折率が連続的に変化するため、どのような角度からも光は透過する。一方、グ リースで接合した場合は、入射角が大きくなると全反射するため、垂直に近い角度で入射した光 のみ透過する。すなわちシンチレータのどの場所で発光したかによって反射率が異なるため、位 置依存性が生じ、エネルギー分解能が悪くなると考えられる。

## 本研究で得られた成果

モスアイ型反射防止フィルム(モスマイト)と高屈折の接触液を用いて、光センサーとシンチレー タの境界面で屈折率を連続的に変化させることにより、往来の方法(グリースを用いる)で接合す るよりも、GSO(厚さ1.4 mm、接合面と逆の面に黒テープを貼り、シンチレータ内での全反射を 阻止)では約10%、CsI(Tl)では約30%も光センサーに入射する光子数を増大することができた。 また、CsI(Tl)を用いた測定では、1 MeV以上の領域においてエネルギー分解能が10-20%よく なることがわかった。本研究の結果は、ごく簡単なハードウェアの処理でシンチレーション検出 器全般の性能を大きく改善できる可能性を示している。

シンチレーションカウンターは、素粒子・原子核・宇宙線物理学の研究のみならず、X線撮影装置や医療用 PET などの放射線医学、食品・荷物・車体の検査装置、環境モニタリングなど幅広く社会において活用されている。本研究による性能向上により、これらの分野に大きな技術改革をもたらすことができる。また、光を利用する放射線検出器は集光の効率が要点となっている場合が多く、本研究の結果は一般的な光放射線検出器全般に渡って大きく貢献できることにつながり、大きな意義があると言える。

## 参考文献

杉山清寛、福田光順、山中千博、下田正 編 第4版 物理学実験 一大阪大学理学部物理学 科・物理学実験テキストー 2016年出版