

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 鈴木 崇民
学位 位 博士 (理学)
学位記番号 新大院博 (理) 第 392 号
学位授与の日付 平成 26 年 9 月 22 日
学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
博士論文名 有機半導体を用いた放射線検出器の研究

論文審査委員 主査 教授・宮田 等
副査 教授・大原 謙一
副査 教授・摂待 力生
副査 准教授・川崎 健夫
副査 准教授・大坪 隆

博士論文の要旨

高エネルギー物理学実験や原子核物理学実験の分野では、シリコンやゲルマニウムなどの結晶を用いた半導体放射線検出器が使用されている。例えば、高エネルギー加速器研究機構の BELLE 実験においては、シリコン崩壊点検出器が B 中間子の崩壊点の測定に使われ、粒子・反粒子対称性の破れを証明した。しかし、シリコン等の無機物半導体を用いた検出器は結晶構造を持つために検出面積を大きくすることが難しく、また高純度結晶を用いていることから非常に高価になるという欠点がある。

本論文申請者の研究グループでは、高エネルギー物理学実験における無機物結晶半導体放射線検出器に代わるものとして有機物半導体放射線検出器の研究開発を行なっている。無機結晶半導体検出器に用いられている高純度結晶シリコンが非常に高価であるのに対し、安価な有機物半導体を用いることで、無機結晶半導体では成し得ない、大面積かつ自由な形状の半導体検出器を実現できる可能性がある。

本論文の研究は、有機物半導体材料として扱いやすく安全であるポリアニリンを用いた放射線検出器を開発することを目的とし、アルファ線、ベータ線等の放射線の検出に成功している。申請者は各種のセンサーを試作し、その特性・性能の評価を行った。

主として次のテーマについて研究を行った。

1) ワイヤ電極センサーの開発

ポリアニリンを用いた放射線センサーのアノード電極として金属ワイヤを用い、高電圧を印加することでアバランシェ増幅により、アルファ線、ベータ線の信号検出に成功した。特にベータ線信号の検出には、信号増幅過程が必要であることがわかった。また、ワイヤ電極センサーの特性評価をすることにより、検出機構の解明と高検出効率のセンサー開発を行った。

2) センサーの作製方法の検討

電極として電場の集中する形状を作ることで、ベータ線等の比較的電離損失量の少ない放射線でも検出できることがわかってきたが、その検出効率は十分ではなかった。そこで、センサーの新たな作製方法を検討することで、センサーの性能向上を目指した。

3) ポリアニリン四量体を用いたセンサーの開発

有機半導体放射線センサーの性能を向上させるための材料開発として、高分子ポリアニリン材料自体の変更を検討した。分子量が小さく、高純度であるポリアニリン四量体を材料として使用することで、センサーの性能向上を目指した。

4) センサーの検出効率の向上

ポリアニリンセンサーの検出効率を計算することで、上記センサーの性能評価を行った。また、検出効率等の違いから検出メカニズムについて考察した。

以上の開発研究からポリアニリンセンサーについて、材料の性質、材料をセンサー化する際の作製方法、電極構造などによって、その性能が大きく変化することがわかった。有機半導体を用いた放射線検出器の開発を行った本研究により、ワイヤー電極センサーの場合について、アルファ線、ベータ線信号の検出効率の最大値として、それぞれ 30%、0.2% を達成した。アルファ線については、実用化レベルの検出効率であるが、ベータ線については、更なる開発が必要であることが分かった。

審査結果の要旨

無機結晶半導体を用いた放射線検出器は、その性能から、高エネルギー物理学実験をはじめとして、様々な分野で使用されている。ところが、シリコンやゲルマニウムなどの無機半導体を用いた検出器は結晶構造を持つために検出面積を大きくすることが困難であり、また高純度結晶を用いるために検出器が高価になってしまうという短所がある。

そこで、本論文の研究は、材料自体が高純度無機結晶に比べて安価な有機物半導体ポリアニリンを用いて、低価格で大面積の新しい半導体放射線検出器を開発することを目的として行われた。有機物半導体の利点の一つに、結晶構造の半導体にはない柔軟性を持つという性質がある。有機物半導体の安価で柔軟性があるという性質を放射線検出器に応用した場合、無機結晶半導体に比べて取り扱いが容易であり、高エネルギー物理学実験の分野ばかりでなく、放射線医療の分野などへの応用も期待される。

本論文の研究では、導電性高分子ポリアニリンをセンサー部分に用いた有機物半導体放射線検出器を作製し、これを用いてアルファ線、ベータ線などの放射線のリアルタイム信号を検出し、センサーの特性や性能の評価を行った。有機物半導体を用いた放射線のリアルタイム信号の測定は世界でも非常に珍しく、特に本博士論文の参考論文(NIM A763,304-307,2014)で報告されたベータ線の検出は世界初である。

本論文で行われたワイヤー電極センサーの開発、センサーの作製方法の検討、ポリアニリン四量体を用いたセンサーの開発、センサーの検出効率の向上などの研究によって、アルファ線、ベータ線に対する検出効率の最大値として、それぞれ 30%、0.2% を達成した。アルファ線については、既に実用化レベルの検出効率を達成しており、ポリアニリンなどの有機物半導体を用いた放射線検出器を将来の高エネルギー物理学実験などの分野に応用できる可能性が十分にあることが示された。

以上の内容は、高エネルギー物理学実験の分野において高く評価されるものである。よって、本論文は博士（理学）の博士論文として十分であると認定した。