

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 宮田 恵理
学位 博士 (理学)
学位記番号 新大院博 (理) 第 447 号
学位授与の日付 令和 2 年 3 月 23 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 有機半導体放射線検出器の実用化に関する研究

論文審査委員 主査 准教授・大坪 隆
副査 教授・大原 謙一
副査 教授・摂待 力生
副査 准教授・早坂 圭司

博士論文の要旨

素粒子物理学実験や原子核物理学実験において重要な放射線検出器の一つに、半導体放射線検出器がある。半導体検出器は、高いエネルギー分解能や位置分解能などをもつ優れた放射線検出器である。特にシリコン結晶を用いた無機半導体検出器は、最先端の素粒子物理学実験でよく使用されている。例えば Belle II 実験では、ストリップ型のシリコン半導体検出器 SVD (Silicon Vertex Detector) を使用している。SVD は数 μm の高い位置分解能をもち、素粒子物理学実験における粒子の崩壊点検出で重要な役割を担っており、欠くことができない検出器である。また、International Linear Collider (ILC) 実験では、サンプリング型のシリコン・タンゲステンカロリメータを検討している。さらに近年、半導体検出器は放射線医学分野などへの応用についても研究されており、さまざまな分野の研究において不可欠な検出器となっている。

しかしながら、従来から使用されているシリコン結晶などを用いた無機半導体検出器は、高性能を実現するために高純度な結晶構造を必要とするため柔軟性がなく、高価で大型化が難しいという問題点がある。これらは、精密測定のために実験装置の大型化が進んでいる素粒子物理学実験において大きな課題となっている。

これらの問題点を解決するために、申請者の研究グループでは新たな放射線検出器の材料として、結晶構造をもたない導電性高分子に着目した。これを利用した有機半導体放射線検出器を開発することで、無機半導体検出器にはない、柔軟性が高く大型化可能でかつ安価な検出器を実現できる。

有機半導体放射線検出器の開発において、本博士論文の研究以前の性能は、 α 線の検出効率 30%、定常的に得られる β 線の検出効率 1% 程度である。有機半導体放射線検出器を実用化するためには、放射線検出器を製作販売している企業の目標値でもある、 β 線検出効率 20% 以上を達成する必要がある。

そこで本研究では、放射線検出感度を向上させるために、有機半導体センサ作製のパラメータ (有機半導体材料などの種類、導電率を左右する酸化度、電極形状など) を変えな

から各種センサの作製を行ってきた。

また、センサ内での β 線のエネルギー損失を大きくするために TiO_2 を含有し、その TiO_2 の状態（粒子径・含有量）などのパラメータの最適値を求めた。さらに、楕形電極を用いてエッジの高電界を利用し、より多くのキャリア信号の収集を試みた。

その結果、 β 線に対する検出効率を10%以上にすることを達成した。また、 β 線の入射頻度依存性や長期安定性などのセンサ性能の評価を行った。長期安定性については、センサ作製後から2年以上経過しても検出効率が劣化しないことなどが分かり、実用化のために非常に重要な成果が得られた。

本博士論文では、最後に、有機半導体放射線検出器を将来の素粒子実験の電磁カロリメータに用いた場合に非常に優れていることをシミュレーションなどにより説明すると共に、研究全体のまとめを示した。

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大型化することが困難であり、また高純度結晶を用いることから検出器が高価になるという短所がある。

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半導体ポリアニリンを用いて、低価格で大面積での使用も可能な有機半導体放射線検出器の実用化のための開発をすることを目的として行われた。有機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、環境放射線計測の分野などへの応用も期待される。

本研究では有機半導体のポリアニリンに二酸化チタンを添加したセンサを用いた有機半導体放射線検出器を作製した。これを用いて β 線のリアルタイム信号を検出し、センサの特性や性能の評価を行った。粒子径を調整した二酸化チタンを配合したポリアニリンセンサで、10%以上の β 線検出効率を得られ、有機半導体放射線センサの感度を大幅に向上した。また、センサの長期安定性についても本研究で、少なくとも2年以上安定していることが分かった。ポリアニリンや二酸化チタンは安価で環境安定性も良い。さらに本研究で開発した工程は実生産に対応可能な設計となっている。本研究のセンサを将来の高エネルギー物理学実験の電磁カロリメータに応用した場合についてのシミュレーションなどによる検討も行われていて、有機半導体放射線検出器の実用化に向けた研究が大きく進展した。

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。