

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 田村 正明  
学位 博士 ( 理学 )  
学位記番号 新大院博 (理) 第 412 号  
学位授与の日付 平成 28 年 9 月 20 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 有機材料を用いた新型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・早坂 圭司  
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の分野で非常に良く使われている重要な放射線検出器の 1 つにシリコン半導体検出器がある。この検出器は主として高エネルギー荷電粒子の飛跡測定や粒子の反応点、崩壊点などの測定に用いられている。しかし、このシリコン半導体検出器は高純度無機結晶を用いていることから、非常に高価であり大型化できないという欠点がある。本博士論文の著者が所属する研究グループでは、シリコン半導体検出器に代わる新しい放射線検出器として、大型化、大面積化に有利な有機半導体を応用したリアルタイム放射線検出器の開発を行っており、ポリアニリンを用いた放射線センサーによって  $\alpha$  線や  $\beta$  線を初めて検出することに成功している。

ポリアニリンを用いた放射線センサーはコストや生産性において有用であるが、シリコン・PIN フォトダイオードなどと比較すると、まだ十分な感度が得られておらず、実用化に向けて特に  $\beta$  線を十分な感度で検出できるようにセンサーの改良と有機半導体自体も最適化する必要がある。本研究ではこのポリアニリンセンサーの  $\beta$  線感度向上に向け、次のテーマについて研究を行った。

1) エメラルディン塩基 (EB) の加工方法の開発

ポリアニリンの 4 通りの構造において、従来のセンサーに使用していたロイコエメラルディン塩基 (LEB) は、加工性が良い反面、製造には特殊な還元剤を使用する必要があるので高価であり、環境安定性が悪くセンサーへの加工に際して品質管理が必要となる。また、センサー加工後は酸化されてしまい、最終的にはエメラルディン塩基 (EB) として機能している状況であった。本研究では、この改善を目標として、最初からエメラルディン塩基を用いるシート化加工方法の開発を行った。加工性が劣るエメラルディン塩基に対して、以下の改善を実施した。

- ・エメラルディン塩基の比表面積を制御し、加工性を向上させた。
- ・溶剤として N, N' -ジメチルプロピレンウレア (DMPU) を選定し、溶解性を向上させた。

この改善により、エメラルディン塩基でのシート化が可能となり、放射線センサーのコスト低減と品質の安定性向上が可能となった。

## 2) 二酸化チタンとの複合シートの開発

導電性高分子の多くは、電子状態や電荷輸送性から p 型半導体とみなされ、無機半導体デバイスの pn 接合構造を模倣することが可能であり、接合界面で電荷分離させやすくしたものが、既に太陽電池などに応用されている。ポリアニリンも同様に p 型半導体の特性を持ち、溶剤などへの溶解性が高いことから、n 型材料との複合が可能である。n 型の特性を有する化合物としては様々なものが提案されているが、最も一般的に使用されている素材の 1 つとして二酸化チタンがある。二酸化チタンは低コストで安全性も高いことから、反応触媒、光触媒など様々な分野に応用されている。

放射線センサーの感度向上を目的として p 型半導体のポリアニリンに n 型半導体の二酸化チタンを複合する方法を開発した。開発工程で得られたポリアニリン/二酸化チタン複合シートの仕事関数の測定を行い、ポリアニリンと二酸化チタンの pn 接合により電荷分離が促進されていることを確認した。

以上の開発により作成したリアルタイム放射線センサーについて、シンチレータトリガーを用いて  $\beta$  線感度の検証を行った。その結果、従来のセンサーで 0.01%~0.1%程度であった  $\beta$  線検出効率が、二酸化チタンを 50 質量%配合したポリアニリン/二酸化チタン複合センサーでは、最大 1%の値が得られ、大幅な感度向上に成功した。

### 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。

本研究では p 型半導体のポリアニリンに n 型半導体の二酸化チタンを複合したシートをセンサー部分に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  $\beta$  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い。二酸化チタンを 50 質量%配合したポリアニリン/二酸化チタン複合センサーで、最大 1%の  $\beta$  線検出効率が得られ、従来のセンサーの感度を大幅に向上した。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。このことから、有機半導体を利用したリアルタイム放射線検出器は十分に実用の可能性があるものと思われる。無機半導体を用いた放射線検出器と比較すると、まだ感度が十分ではなく実用化に向けてさらなる開発が必要である。

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。