

## 審査の結果の要旨

氏名 畠山 修一

本論文は、極低温における超伝導体の急峻な温度抵抗変化を動作原理とする超伝導転移端センサ (Transition Edge Sensor: TES) 型マイクロカロリメータを用いて、優れたエネルギー分解能で高感度に $\gamma$ 線を検出し、核種同定を行うことの可能な精密分光技術の開発を行ったものであり、放射性試料を用いた核種同定実験から、半導体検出器では見分ける事が不可能な $\gamma$ 線及び蛍光X線のピークを TES によって高感度に検出・分離し、核分裂生成物の精密核種同定をも実証している。

第一章は序論であり、精密 $\gamma$ 線分光技術が非破壊で放射性同位体の高精度な微量分析・同定を可能にし、原子力分野での応用のみならず、様々なトレーサー核種を用いた生体イメージングにおいて、生体内に取り込まれた微量の核種から放出される $\gamma$ 線を高感度に検出する可能性をも秘めていることを示している。微量な放射性核種を高感度に検出する精密 $\gamma$ 線分光技術を実現しうる、超伝導転移端センサ (Transition Edge Sensor; TES) 型マイクロカロリメータは、比熱が極小化する極低温にて放射線入射により生じる温度上昇を超伝導体の急峻な温度抵抗変化を用いて高精度に計測するスペクトロメータであり、これを用いることで、ガンマ線のエネルギー情報を用いたイメージング法であるコンプトンイメージングの空間分解能の大幅な向上、原子力事故時の肺モニタの感度の大幅な改善が期待できる。本研究は、TES を用いて優れたエネルギー分解能で高感度に $\gamma$ 線を検出する次世代 $\gamma$ 線精密分光技術の開発を行い、放射性核種の元素分析・核種同定装置の実現に向けた基盤技術を確立することを目的としている。

第二章は、放射性核種分析装置として必要な要件と現状技術について概観した後、高エネルギー分解能を得ることのできる極低温検出器の原理について示され、特に高いエネルギー分解能を実現する TES 型マイクロカロリメータの原理、構造、信号・雑音特性、信号処理法、検出システム、冷却システムなどの詳細について示している。

第三章は、ガンマ線検出に用いるための、重金属を用いた吸収体にエポキシポストを介して TES を結合させた TES マイクロカロリメータについて具体的に

な開発要素を示しており、吸収体との結合の観点に着目して、熱伝導モデルを構築し、結合を高めることで、信号応答における動特性の改善が期待できることを示している。

第四章は、前章で述べた TES マイクロカロリメータについて、吸収体と TES の間の熱伝導を高める工夫として金バンプを用いた素子の評価を行った結果について述べている。まず、本研究で新たに組み込んだ金バンプを用いた吸収体－TES 結合方式の構造等の詳細について述べた後、実際に素子を製作して実験を行うことで、波高値、減衰時定数などの信号特性が大きく改善されることを実験的に示し、その優位性を提示しているほか、8 ピクセルからなるセンサーの開発に成功したことも述べている。一方、信号波形にねじれが観測されたことも報告している。

第五章は、本研究で開発した核種分布測定装置である、重金属吸収体を用いた TES マイクロカロリメータを実際に計測現場に適用して、その有効性を示す実験を行った結果をまとめたものである。原子力研究開発機構における Pu や核分裂生成物の測定実験など、これまで世界でも行われたことのない高いエネルギー分解能で放射性核種を計測し、同定する試みを行ったことが示されている。また、662keV のガンマ線領域では、本研究において世界最高のエネルギー分解能である、526eV (FWHM)が達成されたことが報告されている。

第六章は結論であり、本研究を総括し、放射性核種分析装置の実現に向けて、独自の Au バンプ製ポストを導入した高エネルギー分解能かつ高検出効率な  $\gamma$  線検出用超伝導転移端センサ型マイクロカロリメータの開発を行ったことが述べられている。Am-241、Co-57 と Cs-137 密封放射線源を用いた  $\gamma$  線照射実験では数十 keV から数百 keV までの広いエネルギー範囲において半導体検出器の限界値を越えるエネルギー分解能を実証し、放射性試料を用いた核種同定実験では、半導体検出器では見分ける事が不可能な Pu-239 のピークを TES によって高感度に検出・分離している。さらに、世界で初めて核分裂生成物の非破壊での精密核種同定に成功したことなどをまとめている。以上のように、本研究はこれまで Ge 半導体検出器が唯一用いられてきた百 keV 以上のガンマ線の核種分析装置において、重金属吸収体を用いた TES マイクロカロリメータが高感度化、高分解能化に有効であることを示したものであり、バイオエンジニアリングの発展に寄与するところが小さくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。