

審査の結果の要旨

氏名 ラスナヤカ ムディヤンセラゲ, トウシャラ ダマヤンティ

超伝導転移端センサ (TES) を用いたマイクロカロリメータは、従来の放射線スペクトルの計測に用いられていた、電荷信号や光信号の代わりに、フォノンを信号とする原理に基づくものである。信号キャリアに電子・ホール・光などを用いた場合には一個の電荷キャリアを生成するために数 eV 以上のエネルギーを必要とするため、有限の個数の電荷キャリアしか生成できず、あるいは近赤外領域の入射に対しては、そもそも電荷キャリアを生成することも困難であった。一方、信号キャリアとして、フォノンを用いれば、一個のフォノンを生成するために必要なエネルギーは μeV のオーダーになり、信号キャリアの統計的なゆらぎによるエネルギー分解能の制約や、近赤外光の検出の困難さといった問題は解決する。

本研究は、このような TES マイクロカロリメータの応用範囲を近赤外光ならびに γ 線領域に広げることを目指して研究を進めたものであり、特に入射放射線を如何に効率よく吸収して温度変化を得るかという点について考察を行い、近赤外光においては、反射光学系を用いて吸収効率を高め、また、 γ 線領域においては、鉛の吸収体を用いて高い検出効率を実現し、初めて MeV 領域の γ 線の検出に成功したものである。以下にその論文内容を示す。

第一章は序論であり、従来、主に X 線領域に研究の中心があった TES の応用範囲について、より低エネルギーから高エネルギーの領域への可能性について述べたのち、特に近赤外領域での量子計算や量子暗号通信への応用、ならびに γ 線領域での陽電子消滅分析への応用について詳細を示している。

第二章は TES および従来の半導体検出器などを含むエネルギー分散型検出器の性質についてまとめたものであり、物質と放射線の相互作用を反映して得られるエネルギースペクトルに関する一般的な議論を行っている。

第三章は超伝導転移端センサを用いたマイクロカロリメータの原理と雑音特性などの基礎理論についてまとめるとともに、熱的な計測原理を用いながら高速化を図るための熱電フィードバックや外部回路を利用したアプローチについて示している。特に吸収体とセンサを分けて取り扱うことの重要性について述べている。

第四章は TES の近赤外光への応用としての単一光子検出器 (TES-SPC) について、その

設計、試作、特性試験についての詳細を述べている。TES に Ti を用いて、 $10\mu\text{m}$ 角ならびに $20\mu\text{m}$ 角の素子を試作し、He-3 を用いた冷凍機において、 1550nm という近赤外領域での単一光子の計測に成功し、減衰時間 313ns という極めて高速な応答を得ている。

第五章は、近赤外光子検出器としてより検出効率を高めるための、光共振器を用いた検出器構造の設計について述べたものであり、シリコン酸化膜、窒化膜、チタン膜、アルミニウム膜を組み合わせた多層膜の構造により、96%までの高い吸収効率が得られることを示している。

第六章は陽電子消滅分析のための TES を用いた γ 線検出器について示したものであり、鉛吸収体ならびに導電性エポキシを用いた構造の素子を製作した結果、 662keV の γ 線の測定に初めて成功し、 4.7keV のエネルギー分解能が得られることを示した。また、 1.17MeV の γ 線の計測にも成功しており、 2.9keV のエネルギー分解能を得ている。また、これらの実験の過程で信号の減衰成分に 3.1ms の速い成分と、 135ms の遅い成分の 2 成分があることを示している。

第七章は、前章の結果を得て、改良を行った γ 線検出器について示したものであり、吸収体の厚さを薄くすることで、より高速化を図り、減衰時定数を 29.3ms に短縮することに成功している。

第八章は、本論文全体のまとめであり、近赤外光の検出器として良い特性が得られたことならびに、鉛の吸収体を用いて γ 線の検出器として有望な結果が得られ、今後の陽電子消滅分析への適用の見通しを得ている。

以上、本研究は TES の応用領域を拡大して、近赤外光単一光子計測ならびに超高分解能 γ 線計測実現への道を拓いたものであり、工学、特に原子力工学の進展に寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の請求論文として合格であると認められる。