

審査の結果の要旨

氏名 全 伸幸

現在普及している放射線スペクトロスコープでは、放射線のエネルギーを電荷キャリアに変換するものであるが、この手法では、電荷を生成するために比較的大きなエネルギーを必要とするため、電荷キャリア数のゆらぎの制約を受けて特に低エネルギーX線の分解能には制約があった。一方、放射線のエネルギーを熱として受け止め、吸収体の温度変化を検出する手法は、ボロメータまたはカロリメータと呼ばれて、このような電荷キャリアのゆらぎを受けずに高エネルギー分解能を達成できることが古くから知られていたが、温度変化を検出原理に持ち込むことから、動作速度に制約があった。本研究はこの点に一步踏み込み、超伝導体の転移端での抵抗変化を利用したマイクロカロリメータである転移端温度センサ(TEs)において動作点を制御し、温度変化と電気信号をうまく調和させて動作させることにより、位置検出器としての利用やセンサの高速化、デジタルモードでの動作による測定系の簡素化など多くの可能性が開けるということを提案し、その具体的な手法と有効性を示したものであり、次の8章から構成されている。

第1章は序論であり、蛍光X線分析や宇宙応用など、高エネルギー分解能が必要とされている応用分野の状況を示し、現在精力的に研究の進められている、超伝導体を用いた代表的な検出器として、単一光子超伝導検出器、超伝導トンネル接合素子、位置敏感型超伝導転移端センサ、テラヘルツ光用検出器など、主要な検出器の比較を行っている。

第2章は、マイクロカロリメータの一般的な動作原理と内部で生じる物理過程について記述を始め、金属マイクロカロリメータや誘電体マイクロカロリメータなどの基本動作原理まで紹介した後に、本論文の主題である超伝導転移端温度センサ(TEs)を用いたマイクロカロリメータについて定電圧バイアスでの動作理論と周波数特性や電流感度を示し、更にはジョンソンノイズ、フォノンノイズ、吸収体とセンサ間の温度ゆらぎに起因するTFN(Temperature Fluctuation Noise)などに至る雑音理論を含めたTEsの動作特性について詳しく議論し、デバイス特性の定量的な取り扱いを試みている。

第3章は、TEsの信号処理手法についてまとめたものであり、一般的に用いられている最適フィルタについて詳しく説明した後に、個々のX線入射に対応する信号パルス波形の変化が大きく、非線形領域での動作に適した、信号波形のクラスタリング分析を用いた新しい信号処理アルゴリズムについて示している。この新しいアルゴリズムを適用した結果、エネルギー分解能の改善が行われている。

第4章は、東京大学において独自に開発されたIr超伝導体を用いたTEsの製造法を中心として測定系構築の詳細について細かく述べられたものであり、装置パラメータを

最適化してよりよいデバイスを実現したことならびに、本研究で用いた希釈冷凍機と SQUID 増幅器の諸特性と動作条件が示されている。

第 5 章は、動作点を制御することで信号波形をピクセル毎に変化させ、位置検出能力を有する、超伝導検出器であるピクセルアレイ型の TES に関して記述を進めたものである。本章ではまず位置検出のためのシステムサイズを簡略化するための 2 大手法である時間領域マルチプレクシング、周波数領域マルチプレクシングの原理を示し、これと並ぶ概念である波形領域マルチプレクシングを導入している。その後は、クラスタリング法に集中して、実際の位置敏感型 TES から得られる信号を詳細に解析している。本章の最後ではこれらの解析結果に基づいて試作した非対称型の TES を示し、その位置検出特性を求めている。

第 6 章は、レーザー光強度に関する絶対量を測定するためのレーザーパワーメータについて簡単に触れ、TLL(Temperature Locked Loop)の概念を提案し、さらには実際に原理どおりに動くところまで来ているのであろうか？

第 7 章は本論文の中心課題である、TES の動作点をピクセル毎に変化させる手法を極端に小さなピクセルをもつ TES に対して適用した結果について示したものであり、実測された大きな波形変化から位置情報を簡易に取り出すことの可能性を示すとともに、さらに SPring-8 で行った測定実験データにおいては計数率によりバイアス点が変わることなどを新たに見出している。

第 8 章は本論文の結論であり、動作点を制御した TES の有効性を示し、波形領域マルチプレクシング法による位置検出法に関して得られた結果をまとめるとともに、SPring-8 における実験結果において計数率特性の面からも動作点制御が必要であることを述べるなど、動作点制御型 TES の今後の展開についても示している。

以上をまとめるに、本研究では、TES において動作点を制御するという新しい考え方に基づき、新たな高エネルギー分解能 X 線測定法を開発しており、システム量子、特に量子計測の発展へ寄与することは少なくない。

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。