

審査の結果の要旨

氏名 南川 泰裕

X線を用いた分光技術は、微量元素の定量などに威力を発揮するが、分光結晶を用いた場合、検出効率が低くなるため、高分解能な分光能力を有するX線検出器の出現が望まれている。半導体を用いたX線検出器は、電荷信号を生成するために数eV程度のエネルギーを必要とするため、統計的なばらつきにより、エネルギー分解能は100eV程度に制限を受ける。本研究の対象である超伝導体を用いたマイクロカロリメータは、X線入射時の温度上昇を計測原理とするX線検出器であり、原理的に1eV以下のエネルギー分解能も可能とするものである。本研究は、そのような背景のもと、実験と計算の両面から新しい超伝導転移端マイクロカロリメータの動作特性を明らかにし、放射光施設における蛍光X線分析などの適用を通じて、従来の半導体検出器の性能を大きく超える能力を実証するところまでを行ったものである。

第一章は、序論であり、研究の背景としてX線分光法について述べられた後、放射線検出器として近年精力的な研究の展開されている極低温放射線検出器の現状を紹介するとともに、本研究の対象とする超伝導転移端センサ(TES)マイクロカロリメータの原理と応答特性、ならびに信号読み出し手法について示している。

第二章は、TESマイクロカロリメータの原理について、より詳細に示したものであり、熱浴との間の熱のやりとり、素子の実質的な高速化を達成するための工夫である電熱フィードバック(ElectroThermal Feedback: ETF)、TESの製法、超伝導体としてイリジウムを選択したことなどが述べた後、冷却技術や信号読み出しに用いる超伝導量子干渉素子(SQUID)増幅器の原理が示され、さらに信号読み出しの多重化方式について紹介がなされている。その後、TESマイクロカロリメータの雑音について示され、エネルギー分解能を制限する要因について詳述され、最後は検出器の応答特性と転移状態の関連について議論をしている。

第三章は、TESマイクロカロリメータのモデル化について述べられた章であり、熱的なモデルと、電気的なモデルを組み合わせることで支配方程式を構築し、実測した物性値などを入れて素子の動的な応答を示すシミュレーションが可能であるとしている。

第四章は、実際に第三章で開発したモデルを実装してシミュレーションを行った結果に

ついて詳細な解析を行い、検出器サイズが大きくなると、相分離の影響により、複雑な形状のパルスが生じることが再現されるとともに、大面積・小面積 Ir-**TES**、吸収体バーを追加した検出器、並列アレイ型素子など種々の **TES** について、代表的な実測値との比較を行い、シミュレーション結果と測定結果の対比について議論している。

第五章は、吸収体と **TES** を直列接続した、新しい構造の **TES** について得失を議論したのち、作製した素子の詳細を示し、計算により設計したパラメータについて議論し、4 ピクセルの素子について、信号波形の導出からピクセルの同定までを行っている。

第六章は、本研究のまとめであり、シミュレーション計算ならびに実験により、**TES** マイクロカロリメータの動作特性を明らかにすることができ、その知見を生かした新しい素子構造として、直列型吸収体を用いた素子の開発に成功したことを述べている。

以上のように、本論文は、X 線分光において高エネルギー分解能を可能とする超伝導マイクロカロリメータの動作特性を計算ならび実験により明らかにし、生体試料中の微量元素を定量する蛍光 X 線分析など実際の応用への道を拓くものであり、工学、特にバイオエンジニアリング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。