

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 入松川 知也

本論文は、核物質管理や物性科学などに有用な γ 線検出器として、 γ 線エネルギーを極めて高精度に計測することのできる超伝導転移端センサ(Transition Edge Sensor: TES)の検出効率を大幅に向上させるために、センサのアレイ化に対応した信号多重化による読み出し法の研究を行ったものである。第一章は序論であり、核物質の計量管理においては、0.1%程度の高い精度での Pu 同位体の測定が必要とされる。非破壊検査においてこの精度を達成するためには、ガンマ線分光の精度を高めることが必要であり、高純度 Ge 検出器を超えるエネルギー分解能を有する TES 検出器の利用が有効であることを述べている。一方、TES では吸収体の温度上昇を計測原理とするため、温度上昇を確保するためには、単体で大型の検出器を用いるわけにはいかず、小型の検出器を並べたアレイ化が必須である。本章では、アレイ化のためのいくつかの方法について述べた後、マイクロ波線路上にチャンネル毎に少しずつ異なる固有の共振周波数をもつ共振器を配置してその共振周波数を SQUID(Superconducting Quantum Interference Device)を介して TES を流れる電流で変位させた構造をもつ、マイクロ波信号多重化法について注目し、複数の TES を接続した際にエネルギー分解能の劣化が許容範囲にあることを実証することをその目的とすると述べている。第二章は、 γ 線 TES の動作原理と特性について紹介した後、マイクロ波信号多重化法とそこに用いられる RF SQUID, RLC 共振器, 1/4 波長共振器などの回路素子の詳細について述べている。第三章は実際に開発したマイクロ波信号多重化に用いられる素子の構造と実験の体系について述べたものである。多重化素子の設計においては、SQUID と共振器の直接結合の構造をとり、典型的な素子パラメータに対して間接結合型よりも広帯域の信号測定が可能であることを示している。またマイクロ波が TES に混入しないようにフィルタを用いてカットしている。実験体系については、断熱消磁型冷凍機内部のセットアップおよび室温での信号処理系の詳細を述べている。第四章は、本研究の心臓部分である、共振器の材料についての評価検討を行った結果について述べており、シリコン基板またはサファイア基板について、Nb 配線、NbN 配線のいずれの場合についてもマルチプレクサに必要とされる十分高い Q 値が得られることを示している。第五章はマルチプレクスにおいて重要な問題であるクロストークについて解析を加えたものであり、隣接する共振器の共振周波数を大きく変えるように

レイアウトを工夫することで、クロストークの低減を図ることができることを示した。また、クロストークは直線性誤差と相関をもつことを示し、クロストークを低減することで直線性誤差が低減できるとしている。第六章は、実際に本研究で開発したマルチプレксаを 1 素子の TES と接続して、ガンマ線を計測した結果について示している。 ^{57}Co の 122keV のピークに対して 101eV(FWHM) の分解能を得ており、接続したチャンネル以外の他のチャンネルにおいて観察されるクロストークが十分小さいことを示している。第七章は、製作した素子の Q 値の改善を図った結果について述べており、製造プロセスにおいて平坦化のプロセスを導入することで、 Q 値を大きく改善できたことを述べている。第八章は、2 素子の TES 素子を開発したマルチプレксаを用いて読みだした結果について述べている。 ^{166}mHo を用いた測定において、 184.4keV のピークに対して、 115eV (FWHM) , 128eV (FWHM) の分解能が得られている。第九章は結論であり、本研究において得られた結果をまとめている。

質疑では、マルチプレксаの応答速度、1000 素子を読み出す際の低温側のマルチプレクス数の選択について、目標とするマルチプレクス数の意義、冷凍機の冷凍能力と素子数の関係、直接結合型と間接結合型を比較した得失、マイクロ波信号の終端におけるインピーダンス整合等、広い視点から論文の内容について確認がなされた。

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。