

審査結果の要旨

氏名 福田大治

近年、超伝導材を用いた低温型の放射線検出器が実用化の一手手前のところまできている印象である。トンネル接合型 (STJ 型) の超伝導材は、高計数率ではあるがエネルギー分解能がある程度以上から、なかなか向上しないが、超伝導転移端を用いたマイクロカロリメータ (TES 型) は、原理的にはジュール熱の雑音レベルで分解能が決まることになり、最近では TES 型が STJ 型より多く研究されている。いずれにしろ、Ge や Si の半導体検出器よりも 30 倍近くエネルギー分解能がよくなるという点で興味をもたれているところである。本論文はこの TES に関する研究で 7 章から構成されているものである。

第 1 章は序論であり、低温検出器全体についてレビューをしており、TES の開発の現状のほか、STJ 型や NIS 型 (常伝導/絶縁体/超伝導型)、磁気マイクロカロリメータまたその他の例については Low Temperature Detector (LTD) のワークショップなどからの文献を引用して紹介している。また、本章でこのマイクロカロリメータを微量元素分析と化学状態解析という実時間 PIXE (Particle Induced X-ray Emission) への応用を設計上の目的として考えている。それによるとエネルギー分解能は 5.9keV エックス線に対し数 eV (FWHM)、有感面積は 500 μm \times 500 μm 以上、計数率特性は 5Kcps 以上と設定している。

第 2 章では TES について構造、熱力学モデル、微小温度信号入力に対する出力信号モデル、電流電圧感度、また特に電流印加時の超伝導体の温度特性について熱輸送方程式を用いて表し、thermal healing length η を定義して TES 内の温度パターンを分類している。 η が大きくなると TES 内の温度分布はフラットになり、この状況を計算機シミュレーションにより確認している。

第 3 章では具体的な TES の開発について述べており、まずは近接二重層薄膜方式の TES について作製している。Al/Cu、Mo/Cu 型などについて Al、Mo の超伝導体が 60 nm、Cu の常伝導体が 200 nm で作成し、抵抗値を各温度で測定して、超伝導特性を測定している。二重層方式ではやや扱いが面倒ではあるので、引き続いて単一超伝導体としてのイリジウム (Ir) とタングステン (W) を用いた TES の製作を行なっている。いずれも超伝導体として望ましい性能を示した。

第 4 章は、TES の放射線による電流変化を測定する低損質の電流増幅器について説明している。TES は低温でインピーダンスが低いため、常温のアンプで測定することは困難なので、低温で動作可能な超伝導量子干渉素子 (Super conductive Quantum Interference Device, SQUID) を電流アンプとして利用している。これを希釈冷凍機内に設置し、エネルギー分解能に換算したノイズ成分では 3.56eV 以下と良好なアンプを作成して使用している。

第 5 章は、以上の準備の後に、単一超伝導体イリジウムにより作成したエックス線マイクロカロリメータの試作結果で電流電圧特性や温度感度のほか、Fe-55 のエックス線源に対する測定を行ない信号波形の観察、エックス線スペクトルの測定のほか、極低温走査シ

ンクロトン顕微鏡 (LTSSM) を用いて、検出器表面 20 μm 間隔毎にエックス線入射特性を取得しているものである。

この LTSSM により入射位置ごとのパルス波高分布、パルス信号解析、エネルギー分解能の 2 次元的データが取得され、結論として検出器内部での自己発熱効果のため、検出器全体が一様な超伝導状態になっていなくて常伝導状態も一部混入していること、それぞれの領域でパルス波高値が異なるためエネルギー分解能が劣化することなどを、検出器内温度分布のシミュレーション計算結果を併用して示している。

第 6 章は、検出器内の温度特性を向上させるために、イリジウムと金を二重層薄膜構造方式にして、熱伝導特性を向上させた超伝導検出器を試作した結果について述べている。各種の検出器特性測定の結果、5.89keV のエックス線入射に対して 14.1eV (FWHM) というエネルギー分解能のデータを得ており、これは現状の世界レベルのデータになることを示している。

第 7 章は結論と今後の課題であり、特に熱輸送特性を向上させることが性能向上のポイントであるとまとめ、さらに現状では、検出器内部で超伝導と常電導の相分離が生じて性能、特にエネルギー分解能が劣化しているが、今後はこれを積極的に利用する方式も期待されるとの示唆を行なっている。

以上のように本研究論文は、超伝導材を用いた放射線検出器の開発について、その性能向上を目標にしたものであり、かつそれを実現しており、放射線計測学、特にシステム量子工学の発展に寄与することが大きいと判断される。

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。