

審査の結果の要旨

氏名 大野雅史

新しい放射線検出器の素材として、超伝導体を用いる試みが現在、世界各地で進められている。この超伝導体の長所は、放射線のエネルギーを測定する精度を従来の方法に比べて、まさしく桁違いに良くできるからであり、これを用いた特性 X 線測定による元素分析（例えば PIXE 法や蛍光 X 線分析法）などでは、原子の同定みならず特性 X 線のケミカルシフトを用いて X 線放出原子の化学状態分析も可能と言われている。

超伝導材を用いた放射線検出器には、放射線入射による超伝導体中での準粒子生成による電子励起を用いる方式という超伝導トンネル接合型と、放射線によるフォノン励起を用いるカロリメータ方式の 2 つがあり、本論文は後者の方式を用いているものである。

本論文は 7 章で構成されており、第 1 章は序論である。ここでは極低温検出器の研究開発の一般的背景とさまざまな方式について説明している。NIS 方式（絶縁体を常伝導金属と超伝導体で挟んだ構造のもの）とか、磁気マイクロカロリメータ方式も紹介している。本論文ではイリジウム (Ir) を用いた TES（超伝導転移型マイクロカロリメータ）の開発研究を目的としている。

第 2 章では、TES による放射線検出器の動作原理について説明している。つまり、超伝導体では急激に抵抗値が零になる超伝導転移体領域というところがあり、微少な温度変化に抵抗変化を示す部分がある。この部分を用い、放射線による微少な温度変化と電気エネルギー（電流）パルスとして取り出す。この仕組みを ETF（Electron-Thermel-Feedback）というこの ETF 方式の TES マイクロカロリメータの電流応答性と固有雑音について、従って期待される固有のエネルギー分解能について示している。

第 3 章では、超伝導薄膜を用いた単一ピクセル TES 開発について国内外の現状をレビューしている。Ir を用いた TES についてその素子製作方法および素子の超伝導転移特性についても説明している。

同レビューでは、米国国立標準技術研究所 (NIST) の Irwm 等による近接二重層 (Mo/Cu, Aλ/Ag) による測定例をまず示し、エネルギー分解能が 2.0eV@1.5KeV を出したと報告している。その他の欧州のエスロン (SRON, Space Research Organization Natherland) では宇宙用の TES 開発を進めており Ti/Au のデバイスが 4.5eV@5.9KeV と報告している。国内でも宇宙科学研究所のグループが Ti/Au に対し 6.8eV@5.9KeV のエネルギー分解能を報告している。

このレビューのように近接二重層を使うことも多いが、本研究では Ir の単一超伝導を使っている点の特徴である。この製作には、東大の VDEC や共同研究で作成プロセスを開発している。

第 4 章では、前章で開発したデバイスについて、その測定動作システムの説明であり、

特に³He,⁴He 希釈冷凍器および SQUID 増幅器について説明している。

第 5 章は 4 章の方法で作ったデバイスについて、5 章で説明した測定システムを用い X 線検出応答特性などを試験した結果、つまり、本研究の 1 つの結論を説明したものである。このときの分解能は 194eV (FWHM) @5.9KeV であり、設計時の期待 1.5eV に比べ 2 桁程悪く、この原因を数十マイクロメートルにクリメートした X 線を検出器各部に入射させて調べてみた。その結果、入射場所によって発熱温度が変化していること、それも印加バイアスにより変化することが分かった。これは検出器内で超伝導相と常伝導相が分離しているためであろうと想定された。これを解析的な解と比較することにより、(1) TES 内の熱コンダクタンスを大きくすることあるいは (2) Ir-TES を小型ピクセルに分離して利用することの 2 つの解決策が考えられた。

特に (1) の解決策として Ir-Au 薄膜 TES を作成し、 $\Delta E=9.4\text{eV}@5.9\text{KeV}$ という結果を得て、この方式の有効性を示した。

第 6 章は全章の (2) の問題の解決策に関するもので、IrTES を小さいピクセル型の独立検出器としてアレイ化して、イメージング検出器にしようとするものである。これに伴い、イメージング化する検出器数を $N \times N$ とすると、 N^2 個のアレイ信号処理が必要となる。この点の問題解決が必要となり、本章ではこの問題に対する従来の解決策、SQUID マルチプレックスとしての時分割方式、周波数分割方式、 2×4 入力 SQUID 方式などを紹介している。次いで、本研究で考察されたものとして、Post の発展版の信号解析法を説明している。これは前章で求められた結果、つまり放射線入射位置により信号波形が異なることを用いたものでピクセル型に適した方法と言える。

第 7 章は結論で、本研究のあらすじをまとめているほか、今後の研究の方向について展望している。Ir 型、超伝導検出器を実用的な検出器にするためのいろいろな方策について提案しており、その結果は、工学的研究として高く評価される。

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。