

論文審査の結果の要旨

氏名 村松 はるか

本論文は 9 章からなる。第 1 章はイントロダクションであり、本研究の目標として、30keV に感度を持つ超伝導遷移端 (TES) 型 X 線マイクロカロリメータを開発することが記述されている。第 2 章では、その素子の開発が必要となる理由が解説されている。物理定数の恒常性は自明ではなく、実測による検証が続けられている。その中でも特に微細構造定数の時間変化を測定するためには超高安定な時計が必要であり、現在は 2 種類の原子時計を比較することにより最も強い制限が得られているが、将来にはそれを数桁向上できる原子核時計の実現が期待されている。その有力候補は Th (トリウム) の基底準位と異性体準位のエネルギー差を使用した原子核時計であり、微細構造定数の変動の精度が 4 桁も向上できると期待されている。しかし、 ^{229}Th の異性体準位のエネルギーが正確に求まっておらず、 ^{229}Th 原子核時計は実現されていない。ここでは、その準位を測定しようとした先行研究の手法と結果が示されており、 ^{229}Th の異性体 $^{229\text{m}}\text{Th}$ のエネルギー準位 $E (^{229\text{m}}\text{Th})$ が 9.5-18.3eV にあることがわかっている。続く第 3 章で、本研究ではその準位を直接測定するために新しい TES 素子を開発すること、また、その素子にどのような性能が要求されるかを詳細に解説している。具体的には、30keV 付近でエネルギー分解能 0.5eV が必要とされる性能であることを示している。第 4 章では、TES 素子の動作原理と信号読み出し法およびデータ処理法について、文献からの引用を利用して解説している。第 5 章では TES マイクロカロリメータのエネルギー較正方法が記述されている。この素子では、一定以上のエネルギーに対しては非線形な応答によりエネルギー分解能が劣化することがわかっている。そのため、通常の較正ではエネルギー分解能を上げることが難しいが、ここでは新しい較正方法を提案しており、TES の非線形性の由来である抵抗値と電流値の関係を使用して非線形性を改善することで、系統誤差を 12 eV から 2 eV に低減できたことを示している。これは本研究における大きな成果である。

第 6 章では試作された TES マイクロカロリメータによる測定結果が記述されている。これは TES サイズを従来の 2 倍の大きさである 400 μm 角、吸収体の厚みを 4.0 μm として熱容量を増加させることでエネルギー帯域を拡大しており、26 keV のエネルギーに対するエネルギー分解能は 20 eV であった。これを日本原子力開発機構の大洗研究所に持ち込んで、26 MBq の ^{233}U 線源を用いて $E (^{229\text{m}}\text{Th})$ の測定試験を行った。このデータを解析した結果、統計誤差と系統誤差を含めて異性体準位として $44_{-11}^{+13} \pm 61 \text{ eV}$ の値を得た。さらにエネルギー応答の非線形を改善した解析により、 $8.4_{-5.8}^{+7.2} \pm 9.5 \text{ eV}$ の値に改善できた。続く第 7 章では、大洗で行った測定から得た知識をもとに新しい TES を設

計・製作し、その特性評価を行ったことが記述されている。この改良型 TES マイクロカロリメータを東北大に持ち込んで評価実験を行い、特性が改善されていることを確認した。第 8 章では、TES 素子を 65mK においた場合を想定した測定のシミュレーションを記述している。最終の第 9 章では、本研究で開発した TES マイクロカロリメータによる約 400 日間の測定を実行すれば、 ^{229}Th の異性体準位エネルギーが観測できると結語されている。これは原子核時計の実現に大きく貢献する重要な研究成果である。また、これは一般物理学における研究であるが、将来は宇宙物理学への応用も期待できる優れた研究である。

なお、本論文は、林佑、前久景星、中島裕貴、満田和久、山崎典子、原徹、前畑京介、湯浅直樹、紺野良平、山口敦史、中村圭祐、滝本美咲、菊永英寿との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。