

審査の結果の要旨

氏名 國枝 雄一

現在までの約 100 年間の放射線検出器の歴史は、検出用素材として気体、シンチレータ、半導体と展開してきたが、最近では超伝導材が新しい検出器材料として有望と考えられている。本論文は、この流れに沿ったもので超伝導状態のイリジウム (Ir)あるいはイリジウムと金の薄膜二重層を用いて、超伝導型の X線検出器を作成し、その性能評価を行い、その優れた性能の良さを示したものである。この検出器は、エネルギー分解能が革新的に優れていて、従来最高性能と言われていた半導体検出器、例えば Si(Li)検出器が 5.9KeV の X線に対し、約 100eV の半値幅で測定していたものが、3eV–9eV の半値幅で測定できるようになる。つまり約 30 倍も分解能が良くなるという程驚異的なものであり、この検出器を用いて、これから新しい現象がいろいろ発見されるであろうという予感を思わせるものである。

本論文は 9 章で構成されており、まず第 1 章は序論である。この序論では、この検出器の開発の現状レビューから、今後期待される応用分野の例、例えばナノスケールデバイスの純度分析、生物細胞の観察、天文学的観測などについて述べられている。

第 2 章は、具体的な研究対象とした超伝導検出器の紹介であり、超伝導転位端センサー (TES)型マイクロカロリメータについて、その原理、動作概要、特にポイントとなるエネルギー分解能、又信号処理法について説明している。超伝導材は冷却して 1K 近くになると抵抗が急激に減少する転移点があり、その転移点を示している数 mK の狭い温度領域に検出器状態を設定する。放射線が入って検出器にエネルギーを与え、温度が増加すると電熱フィードバック効果 (ETF)方式により、外部電流が流れ、検出器はもとの状態に戻る。これにより外部に信号電流を取り出すというのが TES 型マイクロカロリメータの原理である。これを ETF-TES 方式と呼んでいる。なお、このとき超伝導材の熱容量が常温状態より、桁違いに小さくなっているというのがこの方法が可能なポイントとなっている。

第 3 章は、イリジウム (Ir)超伝導素材を用いた検出器の試作例で、超伝導への遷移温度が 140mK と低すぎず、安定且つ丈夫な素材ということで、いろいろ

るな候補材から選択されたものである。これを微細加工により TES マイクロカロリメータとして試作するプロセスについて詳述し、その性能を測定した。TES としては 200 μm 角 \times 5 nm 厚さでエネルギー分解能は 200eV と余りよい値ではなかった。その原因を考え、TES 内の温度均一性に問題があると判明したので、これを解決するために Ir-Au の二重層を作成してみた。サイズは 200 μm 角で厚さはそれぞれ Ir100 nm、Au25 nm の二重層であり、最終的に 9.4eV のエネルギー分解能になることが分かった。これは、国際的にもトップデータに近い成果である。

第 4 章は、この検出器の測定系についてまとめたものであり、冷却システムとしての希釈冷凍器、増幅器としての SQUID 回路、磁気遮蔽と今回用いた外部 X 線源についても説明してある。

第 5 章から第 7 章に渡って、よいエネルギー分解能を示した Ir-Au の二重層検出器について、静的な特性とエネルギー分解能の問題点の解明と放射光（高エネルギー加速器研究機構の photon factory, BL-13B2）の単一エネルギー入射に対する検出への適用結果を説明している。これらの測定結果を通じて、エネルギー分解能の原因についてその内訳を明らかにした。

第 8 章は、この検出器を次世代の X 線天文衛星用のイメージングスペクトロメータとすることを目的としていて、1000 ピクセルの画素数を有するピクセルアレイ型検出器とするための研究結果について示した。各ピクセル毎に信号の立ち上がり時間の異なることは観測された、それを用いて位置決めを行うことは可能となったが、今度更にイメージング用としての研究は必要としている。

第 9 章はまとめと今後の課題を記述しており、Ir/Au-TES マイクロカロリメータの試作評価とその 20 ピクセル型の試作評価を行ったことを主要な結論としてまとめており、そのエネルギー分解能に関し、検出器内における信号発生の均一性、つまり Au パンクの幅を狭くし、厚さを増やすなどの改善等が今後の課題として必要としている。

このように本論文は、超伝導型の放射線検出器の開発を通じて、システム量子工学の展開に大きく寄与している。

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。