

[別紙2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 中村 龍也

最近、高輝度放射光施設 SPring8 が出現して以来、X線分光学の分野では、「線源の性能に比べ、X線検出器の性能の方が劣る」という状況が続いており、検出器屋さんはやや苦しい立場にある。実際に、今までの放射線研究の歴史では、優れた検出器が新しい発見や知見をもたらしてきたと言っても過言ではない。これは、GM 管、Na I シンチレーション検出器、更には Ge や Si の半導体検出器、或いはイメージング用検出器と続いてきたが、現在はこれらに続く新しい測定原理が求められているという時代にあると言えよう。このような新しい測定の原理になるであろうと期待されているものに「超伝導材を用いた放射線検出器」がある。この超伝導検出器による放射線測定原理には、この論文で紹介されているように 4 種類あるが、そのうちの 1 つ、超伝導トンネル接合型 X 線検出器 (Superconducting Tunnel Junction X-ray Detector, 略して STJ 検出器) に関する研究が本論文の主題テーマである。

まず第 1 章は序論で、本研究の背景、特に一般的な放射線検出器の歴史と、その中における超伝導放射線検出器の位置づけについて述べ、また、その詳細な種類や型について俯瞰したあとで、STJ 検出器の開発状況と本論文の目的と論文構成についてまとめている。超伝導材を用いた放射線検出原理には、STJ 以外に NIS 型、TES-ETF 型、磁気マイクロカロリメータ型があると紹介しているが、時間分解能とエネルギー分解能の点で STJ 検出器が最も有力候補としている。

次に、第 2 章は STJ 検出器の説明であり、検出素子としての STJ の構造や電流・電圧特性に続いて、X線測定原理の説明から検出システムの構成まで紹介している。素子は、2 枚の 100nm 程の Nb 超伝導膜の間に nm オーダーの絶縁層をサンドイッチした構造である。ここに放射線が入射すると、超伝導膜中のクーパー対が放射線により壊れて準粒子になるが、この純粒子、すなわち電子が絶縁体中をトンネル効果で通過して、2つの Nb 膜中に電流信号が流れるので放射線が測定されるというものである。測定は Nb を超伝導状態にするため、0.35K まで冷却するので、 $^3\text{He}-^4\text{He}$ クライオスタットを使用している。また、この Nb 膜には、DC ジョセフソン電流が流れるので、STJ 素子接合面に平行な磁場を 80 から 200 ガウス程加えておく。STJ 素子の動作条件としてのバイアス電圧を 0.4mV 程度加えている。

第 3 章では、この標準的な STJ 検出器の最適動作条件について検討しており、前置増幅器については最低の雑音条件、従って最適な JFET (ジャンクション型フィールド効果トラ

ンジスター) の選択、バイアス電圧の最適条件について、エネルギー分解能を最小にするという最適化条件から検討している。ここで、エネルギー分解能をよくするために改良すべき課題を①信号自身を大きくすること、②低雑音な信号読み出しにすること、③Nb の上下膜からの2つの信号を分離、補正できるようにすること、と設定し、この3つの改善課題が本論文の標的となっている。

第4章は、前章で挙げられた課題①を準粒子トラップ層をつけることにより改善しようとするものである。準粒子トラップ層とは、中心の絶縁層の両側に10–30nm程の超伝導Al層を設けるもので、ここで準粒子トラップ効果により電荷出力の増大をねらうものであり、そのような素子を作って、信号自身は大幅に増大させることに成功した。ところがこの電荷出力信号が検出器の入射位置によって大幅に変化してしまい、この入射位置依存性のために結局のところエネルギー分解能の改良には至らなかった。但し、検出器中央部の入射面を中心の10 μ m角の領域のみに制限すると、50–60eVの半値巾(Feの5.9keVのX線の入射に対して)となり、全入射面 \sim 200 μ mを使ったときよりも1/5–1/6の半値巾になっているという成果を出している。

また上記課題②に対しては、読み出し回路を工夫した改善策を示し、更に、上記課題③の上下Nb膜信号の分離についても波形の形成過程を考慮した立ち上がり時間法により解決している。

第5章は、総合的な検出システムとしての評価で、上記課題①が解決できないままであるので、エネルギー分解能はFeの5.9keVに対して200–300eVになったが、計数率は100kcpsでも可能という良好な成果を示した。

第6章は全体としての結論と今後の課題をまとめており、上述したような成果以外に、上記課題①を解決するため、再度STJ素子自身の作成法を検討することとしている。

以上のように、本論文は、超伝導検出器、特にSTJ検出器の開発を通じてX線測定器の開発、更には量子ビーム工学全体に寄与するところが少なくない。

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。