

氏名	美馬 寛
授与した学位	博士
専攻分野の名称	理学
学位授与番号	博甲第4755号
学位授与の日付	平成25年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科 先端基礎科学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	ミリ波・サブミリ波検出用アンテナ結合伝送線路型超伝導トンネル接合素子の開発
論文審査委員	准教授 石野宏和 教授 作田 誠 教授 中野逸夫 教授 野原 実

学位論文内容の要旨

電波天文学で、赤方偏移 z が 1 以上の超遠方は、地球ではサブミリ波帯の波長領域として観測される。また、宇宙マイクロ波背景放射は 150GHz にピークを持つミリ波として観測される。これら検出器のノイズの大きさとして雑音等価電力 (NEP) $1 \times 10^{-16} \text{W}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下が要求される。

超伝導トンネル接合素子 (STJ: Superconducting Tunnel Junction) は、超伝導体で絶縁体をサンドイッチした構造をもつ。超伝導体にニオブ、絶縁体に酸化アルミニウムを用いることで、650GHz を中心としたミリ波・サブミリ波帯に感度を持つ検出器として動作する。NEP $< 1 \times 10^{-16} \text{W}/\sqrt{\text{Hz}}$ が可能で、時間応答の早さ ($\sim \mu \text{sec}$)、高いダイナミックレンジ ($\sim 10^6$) という特徴を持つ。

しかし、従来型のデザインは 650GHz 以上では利用できず、周波数帯域も制限される困難があった。本研究で提案する伝送線路型 STJ では上記の 2 つを解決することができる。本研究では STJ の作成プロセスを改善することで、ノイズの原因であるリーク電流を世界最高水準まで下げ、650GHz 以下で観測可能であることを示した。試作した検出器では 414GHz で帯域が 2.4%、NEP が $7.8 \times 10^{-17} \text{W}/\sqrt{\text{Hz}}$ を満たしている。

比帯域は従来考えられていた値より 2 倍以上増大していることを確認した。これは、STJ のマルチトンネル効果によるだけと考えられ、光助成トンネル過程で初めて確認した。

また将来的には、本デザインで超伝導体をアルミニウムにした STJ 作ること宇宙マイクロ波背景放射観測の要求を満たす検出器を実現可能である。

論文審査結果の要旨

美馬氏は、表題のようにミリ波・サブミリ波検出用アンテナ結合伝送線路型超伝導トンネル結合素子 (STJ, Superconducting Tunnel Junction) の開発を行った。宇宙遠方にある銀河での星形成や Sunyaev-Zeldovich 効果を検出するミリ波・サブミリ波観測において、天体を精度良く観測するためには、雑音の大きさを表す NEP (Noise Equivalent Power) が 10^{-16} W/sqrt(Hz) 以下で大きな帯域幅を持つ検出器アレイが必要である。これまで、ミリ波・サブミリ波検出用アンテナ結合 STJ は開発されてきたが、広い帯域幅と低い NEP・高い歩留まりを同時に満たす検出器は存在しない。美馬氏は STJ を伝送線路型にすることにより、それらを一挙に解決する新しい検出器のデザインを考案した。

実機作製には、高エネルギー加速研究機構 (KEK) における超伝導検出器作製装置群 (スパッター・エッチング・アライナー等) を用いた。美馬氏は、リソグラフィ技術により、素子作製に必要とされる大きさ $\sim 1 \mu\text{m}$ の構造を形成するために、それらの装置群のパラメータを一つ一つ最適化し、独自の作製手法をとることにより、微細加工技術を確立した。また、STJ の測定のために、0.3K 冷凍機測定システムを新たに構築した。熱流入・グラウンドループ・外来ノイズを減らすために、測定装置の最適化を行い、5pA までの微小電流を測ることに成功した。それらの結果、NEP が 7×10^{-17} W/sqrt(Hz) の STJ の開発に成功した。作製された素子をフーリエ分光器で測定することにより、100% に近い歩留まりと、410GHz で 2.4% という広い帯域幅を得た。この帯域幅は、マルチトンネリング効果によるもので、光助成トンネル効果において初めて発見された。

美馬氏の作製した STJ は、天文台で開発されている低温アンプと組み合わせることにより、今後ミリ波・サブミリ波天体観測に利用されると期待される。また、極低漏れ電流素子の作製を達成したことにより、赤外線観測による宇宙背景ニュートリノ探索にも利用することが可能になった。今後、美馬氏が確立した STJ 素子作製技術と検出器は、広くサイエンスに波及すると考えられる。

以上から、美馬氏の研究内容は博士に値すると判断する。