



【短信】研究室紹介

「超伝導検出器・センサーによる未踏領域への挑戦」



明連 広昭（埼玉大学大学院理工学研究科）

埼玉大学はさいたま市の西端に位置し、5 学部と大学院の 4 つの研究科からなる比較的小規模な国立大学である。筆者は理工学研究科数理電子情報部門電気電子システム工学領域に属し、学部教育では電気電子システム工学科の学生を担当している。平成 30 年度から学科名が再編に伴い電気電子物理工学科と名称が変更され、定員 110 名の新入生を迎える。また、理工学研究科は理化学研究所と産業技術総合研究所と連携大学院の関係にあり、学生の派遣や共同研究が盛んに行われている。

当研究室は筆者と田井野徹准教授、成瀬雅人助教の 3 人の教員で共同運営しており、主に赤外から放射線にいたる光子検出器、サブミリ波、テラヘルツ (THz) 波などの高感度検出器などの超伝導検出器、センサーの研究を行っている。さらに超伝導エレクトロニクスを駆使した信号処理回路により光子検出器のアレイ化、光子数検出器への拡張、高感度検出器のイメージングアレイ化などに取り組んでいる。一部の研究は、理化学研究所や産業技術総合研究所など国内外の研究機関との共同研究により進めている。

研究室には、簡易クリーンルームを備え、超伝導トンネル接合 (STJ)、超伝導ナノワイヤ単一光子検出器 (SNSPD)、マイクロ波カインエティックインダクタンス検出器 (MKID) などの素子が作製できるように、超伝導薄膜作製装置、絶縁膜作製装置、直接描画装置、電子ビーム描画装置、プラズマエッチング装置など一連の超伝導素子作製プロセスが可能となる設備を整えている。また、到達温度 0.3K と 1K の無冷媒機械式冷凍機を保持し、作製された素子の特性評価も研究室内で行うことが可能である。これらにより、素子の設計のみでなく試作・測定・評価に関する一連の研究を一人一人の学生が行え、それらの研究活動を通じて様々な分野で活躍できる人材育成に力を入れている。

以下に、主な研究成果を示す。STJ は、X 線光子の入射により超伝導電子対が励起された準粒子の増加に伴う準粒子トンネル電流の増加分を検出信号とする。この際、超伝導トンネル接合に磁場を印加して超伝導電流を抑制する必要がある。この外部磁場を小さくしたり、オンチップで超伝導永久電流で発生させる目的で、正規分布形状やオンチップコイル集積化 STJ 素子を提案した。さらに、基板

に THz 波を吸収する LiNbO_3 基板や中性子の吸収断面積の大きな $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 基板を用いることにより STJ 素子を THz 波検出器や中性子検出器を構成できることに着目して、応用研究を進めている。

SNSPD は、GS/s の単一光子検出器として研究が行われており、量子情報通信分野の光ファイバーによる暗号通信への応用が期待されている。SNSPD をアレイ化することにより光子数検出器が実現できることが示されているが、単一磁束量子論理 (SFQ) 回路による読み出し回路により、より高速でタイミングジッタの少ない読み出しが可能となる。本研究室では、この SNSPD アレイ光子数検出器の読み出し回路に SFQ 論理回路を適用し、さらにオンチップで SFQ パルス電圧を増幅する回路を結合することにより高速読み出し可能な光子数検出器を提案している。

MKID は、高感度かつイメージングアレイに適した超伝導検出器として提案された。MKID を用いた宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 観測用イメージングアレイに関する研究では田井野准教授と成瀬助教がそれぞれ異なるプロジェクトに参画しており、成果が期待されている。さらに、MKID の高感度性を活かして、放射線検出器や SNSPD のカインエティックインダクタンスを利用する光子数検出器への応用研究を進めている。図 1 は作製した CMB 観測用 TiN/N-MKID イメージングアレイである。一方、図 2 は Nb-MKID による放射線 (α 線) の検出信号の一例を示している。

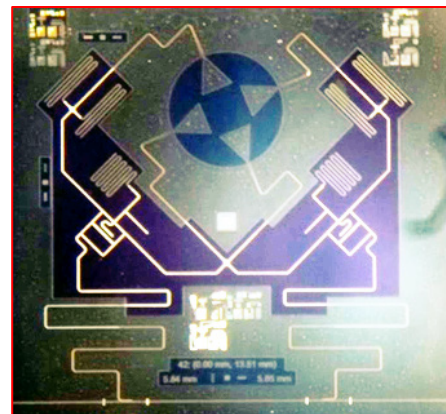


図 1 CMB 観測用 TiN/Ti-MKID イメージングアレイ

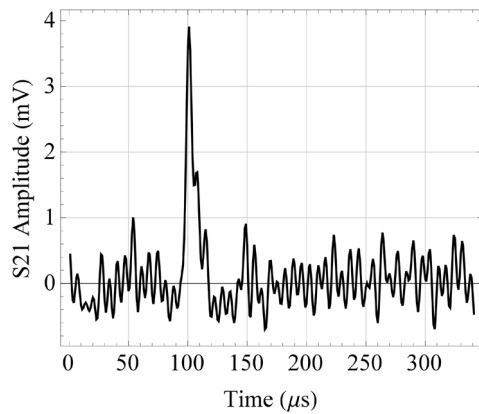


図2 Nb-MKIDによる放射線（ α 線）観測信号の例

SFQ 論理回路による信号処理回路は、その超高速クロック動作と低消費電力動作に特長があり、次世代のプロセッサとして研究が行われている。我々は、極低温で動作する

超伝導検出器やセンサーの信号読み出し回路とともに信号処理回路として SFQ 論理回路を用いることに着目して研究を行っている。例えば、SFQ 論理による高速フィードバック回路を備えたデジタル SQUID 磁束計では、従来の SQUID 磁束計のスルーレイトを mT/s から数 T/s へと 3 桁以上の性能向上をもたらし、今後の応用研究が期待される。

著者略歴：

1989 年広島大学大学院工学研究科博士課程後期中途退学、同年、広島大学工学部第二類（電気系）助手。1992 年東北大学電気通信研究所助手。1998 年埼玉大学工学部電気電子システム工学科助教授。2008 年 10 月埼玉大学大学院理工学研究科数理電子情報部門教授。1993 年日本学術振興会第 146 委員会賞。1992 年広島大学博士（工学）。