

TES マイクロ波マルチプレクサの室温エレクトロニクス FPGA-based Room Temperature Circuit for Microwave Readout of TES

○平山 文紀¹、入松川 知也²、佐々木 仁¹、佐藤 昭¹、山森 弘毅¹、永沢 秀一¹、福田 大治¹、
日高 睦夫¹、神代 暁¹、大野 雅史²、高橋 浩之²(1. 産総研、2. 東大工)

○F. Hirayama¹, T. Irimatsugawa², H. Sasaki¹, A. Sato¹, H. Yamamori¹, S. Nagasawa¹, D. Fukuda¹
M. Hidaka¹, S. Kohjiro¹, M. Ohno², H. Takahashi² (1. AIST, 2. The Univ. of Tokyo)

E-mail: f.hirayama@aist.go.jp

はじめに 極低温環境に置かれた超伝導転移端検出器からの信号を周波数分割多重化して読み出す回路として、rf SQUID のインダクタンス変化を共振周波数変化として測定するマイクロ波 SQUID システムを開発している[1]。多数の画素からの周波数多重化された信号を復調する室温回路の方式としては、ソフトウェア無線や赤外線分光等で用いられるような、高速 A/D、D/A 変換器と FPGA を組み合わせた信号処理系が現実的であると考えられる。本研究では、SQUID 出力線形化の一方式であるランプ磁束変調回路を含む室温デジタル回路ユニット開発し、4 K 環境の SQUID チップを用いて動作試験を行ったので報告する。

実験・結果 図1に試験した測定系のブロック図を示す。MSQUID RT UNIT が今回作製した室温回路ユニットであり、FPGA 基板(含む A/D、D/A 変換)、RF コンポーネント、ランプ磁束変調回路や電源ユニットを19インチラックケースに収納した。外部にマイクロ波ソースと制御およびデータ取得用の PC を接続することで測定可能となる。現在は4チャンネルの複素透過パラメータ(dc SQUID の電圧出力に相当)を 3.84 M サンプル/秒で PC へ連続出力する設定としている。マイクロ波多重読み出し方式では磁束ロックループによる SQUID 出力線形化が困難であるため、SQUID 入力にランプ波を重畳し出力の磁束量子周期応答の時間軸のシフト量により測定を行うランプ磁束変調方式が提案・実証されている[2]。その実装には、出力測定と

変調回路との同期が精度よく行えること、直線性のよいランプ波が生成できることが求められる。このために FPGA 基板からのパルスによりリセットされる積分回路を設計・作製し、これにより発生される鋸歯状波を変調に用いた。図2に変調回路の電流波形および変調電流を直列接続した SQUID4 チャンネル分の変調コイルに入力し同時測定した出力を示す。変調波の繰り返し周期は読み出しのサンプリングレートに相当し、SQUID チップの共振器帯域により制限される。ここでは、共振器帯域 1 MHz、変調幅を 3 磁束量子としてシミュレーションにより十分な応答が得られ、かつ想定する γ 線検出用 TES の読み出しが可能と考えられる 60 kHz (16.7 μ s 周期)とした。出力は1000サイクル分を重ね書きしているが、時間軸方向への揺らぎは見られず安定して同期動作していることがわかる。現在の構成では波形の時間軸上のシフト量から入力磁束値への変換は PC で行っているが、今後この変換アルゴリズムを FPGA 上に実装することで測定チャンネル数を増加し、実用的な TES 読み出しシステムを構築していく予定である。

謝辞 本研究で用いた素子は、産総研のクリーンルーム CRAVITY において作製された。本研究の一部は、文科省「原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ」の支援を受けた。

参考文献

- [1] S. Kohjiro *et al.*, J. Appl. Phys., 115, 223902 (2014).
- [2] J. A. B. Mates *et al.*, J. Low. Temp. Phys. 167:707-712,(2012)

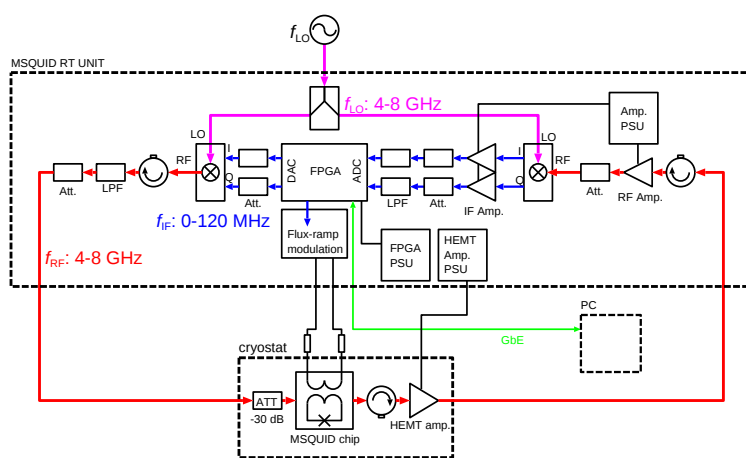


図1 マイクロ波多重読み出し回路ブロック図

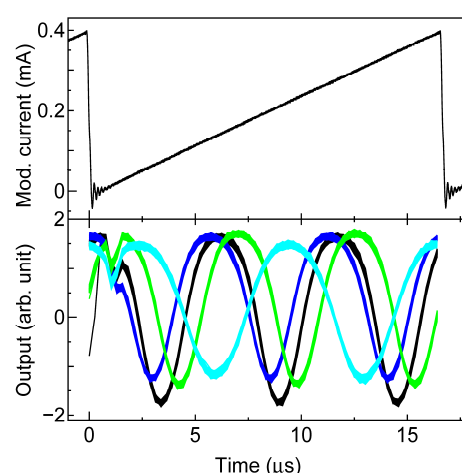


図2 (上)ランプ磁束変調電流および(下)4 チャンネル SQUID 出力(各色がチャンネルに対応)