

超伝導転移端検出器アレイのためのマイクロ波読み出し

Microwave Readout for Transition-Edge Sensor Array

○入松川 知也¹、平山 文紀²、佐藤 昭²、山森 弘毅²、永沢 秀一²、福田 大治²、日高 睦夫²

神代 暁²、大野 雅史¹、高橋 浩之¹ (1. 東大工、2. 産総研)

○T. Irimatsugawa¹, F. Hirayama², A. Sato², H. Yamamori², S. Nagasawa², D. Fukuda²

M. Hidaka², S. Kohjiro², M. Ohno¹, H. Takahashi¹ (1. The Univ. of Tokyo, 2. AIST)

E-mail: t-irimatsugawa@aist.go.jp

超伝導体の転移端における抵抗の急峻な温度依存性を利用する Transition Edge Sensor (TES) は極めて高いエネルギー分解能をもつ超伝導温度センサであるが、応答速度が遅く、単素子の有感面積拡大による計数率向上も難しいため、実用化には素子の多画素化による有感面積増大が不可欠である。多画素化に伴い増大する室温から極低温への配線数は、極低温への熱流入を増やし、TES 分光システムの堆積・消費電力・価格を支配する極低温冷凍機の大規模化をもたらす。その解決のため、極低温下での信号多重化技術の開発が課題となっている。従来広く行われた時分割あるいは周波数分割の多重化は、数 MHz の帯域に複数画素の信号を束ねるため、一系統の読み出し線への多重化数は約 8 であった。これに対し、我々が開発を進めているマイクロ波を用いた周波数多重方式は、数 GHz 程度のバンド幅を持つ極低温 HEMT アンプを用いることにより、原理上室温からの同軸ケーブル 1 本あたり 10^3 - 10^4 ピクセル程度の読み出しが可能である。Fig.1 に本方式の原理を示す。チップ上に、TES 信号強度の関数となる可変インダクタンス素子により終端され、画素毎に長さ（共振周波数 f_R ）の異なる超伝導薄膜共振器群が配置され、それらは 1 本の読出线にキャパシタ結合される。TES 信号強度に基づく共振器群の f_R 変化量を少ない配線数で一度に読み出せる特長を持つ。

本方式でエネルギー分解能を劣化させることなく TES の信号を読み出すには、等価雑音電流 $10 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下の性能が要求され、高い Q 値をも

つ共振器が必要である。従来、超伝導のマイクロ波共振器では、Al, Nb, TiN, NbTiN 等の電極に対する Q 値が数多く報告されている。一方、これらより臨界温度が高く (15.5 - 16 K)、同一動作温度での準粒子励起数が小さいと期待される NbN 共振器の Q 値の報告例は少ない。この観点から、我々は、これまでに NbN 共振器を作製し、 2×10^4 @ 4 K 程度の無負荷 Q 値を得ている [1]。

本研究では、TES の信号読み出しに向け TES の動作温度である 0.1 K 程度における NbN 共振器の特性評価を行った。実験は、16 個の NbN 共振器が集積されたチップを、断熱消磁冷凍機 (ADR) 内に設置された同軸ケーブルと接続し、ネットワークアナライザを用いてマイクロ波の透過特性を測定した。Fig.2 は 4 K と 0.1 K におけるマイクロ波の透過率の周波数依存性を示したものである。図のように、0.1 K では 4 K と比べて共振ディップが深くなり、1桁程度大きな無負荷 Q 値が得られた。この値は、Al, Nb 等を約 0.1 K に冷却した共振器の Q 値 [2] と同程度であり、NbN 共振器を用いて、これら他材料に比べ遜色ない低雑音読み出しが期待できる。

謝辞： 本研究で用いた素子は、産総研のクリーンルーム CAVITY 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。

[Reference]

[1] S. Kohjiro et al., JAP, 115, 223902 (2014)

[2] P. Macha et al, APL, 96, 062503 (2010)

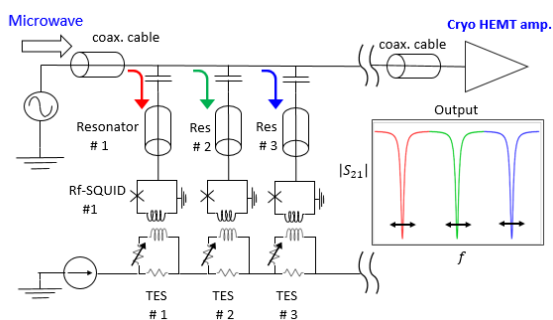


Fig 1: マイクロ波信号多重読出回路の原理

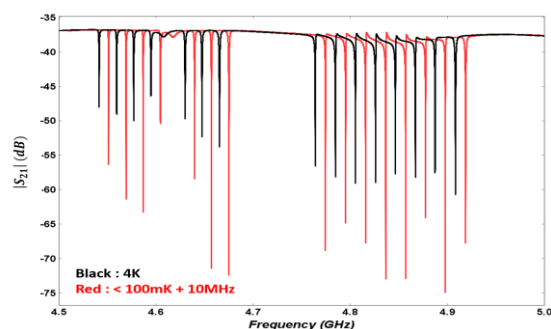


Fig 2 透過率の周波数依存性 @ 4 K (黒), 0.1 K (赤)