

検出器との結合強化によるマイクロ波多重読出回路の低雑音化

Noise Reduction in Microwave Multiplexers by Tight Coupling to Detectors

産総研¹, 宇宙航空研究開発機構² 中島 裕貴^{1,2}, ○神代 暁¹, 平山 文紀¹,

山森 弘毅¹, 永沢 秀一¹, 山崎 典子², 満田 和久²

AIST¹, JAXA² Y. Nakashima^{1,2}, ○S. Kohjiro¹, F. Hirayama¹,

H. Yamamori¹, S. Nagasawa¹, N. Y. Yamasaki², K. Mitsuda²

E-mail: s-kohjiro@aist.go.jp

はじめに 計数率増大・短時間イメージングを目指した多画素化が超伝導検出器研究の潮流となって久しい。多画素検出器の読出配線数と配線経路の極低温への流入熱低減のための超伝導多重読出回路は、その鍵技術である。マイクロ波帯周波数多重法(MW-Mux)は、他の多重法に比べ広帯域ゆえ、1本の読出線への多重化画素数を稼げる。一方、読出雑音 $\sqrt{S_1}$ [A/ $\sqrt{\text{Hz}}$]の報告値[1]は、DC-SQUIDの単画素読出の値に比べ1桁悪い。MW-Muxでは、画素と1:1対応のマイクロ波共振器を終端するRF-SQUIDではなく、共振器群を束ねる読出線出力端の冷却高電子移動度トランジスタ(HEMT)増幅器の雑音が、白色読出雑音の支配要因となる。ゆえに、検出器-SQUID結合度(SQUIDリング L_S -入力コイル L_1 間相互インダクタンス M)の増大により、 S_1 低減が見込まれる。 M は座金型リング上のストリップ線路型入力コイルの巻数 N にほぼ比例するが、DC-SQUIDでは N 増大に伴い、標記構造が電圧状態のジョセフソン接合の発振に対する共振器(共振周波数 f_c)を構成し[2]、特性の歪・雑音増大・動作不安定が報告された。MW-Muxでは、この現象を回避し M 増大による S_1 低減に成功したので、報告する。**実験** A($M=60$ pH, $N=7$), B($M=370$ pH, $N=11$)の2種のMW-Muxチップを設計・試作し、 S_1 とマイクロ波透過率 S_{21} の周波数 f 依存性を測定

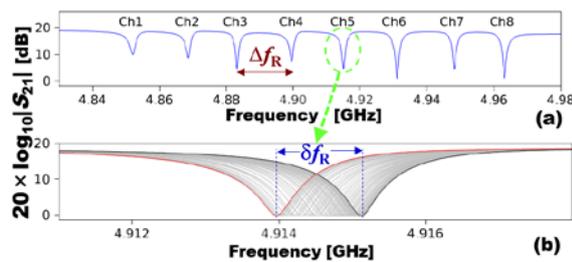


Fig. 1 (a) Transmission $|S_{21}|$ vs. frequency f of 8 pixels with $M=370$ pH. (b) $|S_{21}|-f$ of pixel-5 with various Φ . Thick black and red lines correspond to $\Phi=n\Phi_0$ and $(n+1/2)\Phi_0$, respectively, where n is the integer.

した。Bの $|S_{21}|-f$ 特性をFig.1に示す。 L_1 全長が線路内波長の3.8倍@ $f=4.9$ GHzにも関わらず、A同様、下に凸の単調な特性とSQUIDへの印加磁束 Φ に対する円滑な変化を示した。両者の $\sqrt{S_1}-f$ 特性をFig.2に示す。白色雑音域にて、 M に反比例した $\sqrt{S_1}$ 低減およびBでは $\sqrt{S_1} <$ 検出器雑音(JAXA超伝導転移端センサ)にも成功した。**考察** 臨界電流 $2I_0$ 付近に電流バイアスした抵抗 $R_N/2$ のDC-SQUIDでは、半磁束量子 $\Phi_0/2$ の Φ 変化に対し、ジョセフソン発振周波数(接合電圧に比例)が0から $I_0 R_N / \Phi_0$ 付近まで変化する。ゆえに $0 < f_c < I_0 R_N / \Phi_0$ を満たす構造起因の共振が特性に影響する。一方、MW-Muxの $S_{21}-f$ 特性中、 Φ 変化の影響を受ける f 領域の比率は、共振周波数変化 δf_R (Fig.1b)と f_R が隣接する画素間共振周波数差 Δf_R (Fig.1a)の比で求められる。

$$\frac{\delta f_R}{\Delta f_R} \approx \frac{1}{20 Q_T} \frac{f_R}{f_{SM}}$$

但し、 Q_T は負荷 Q 値、 f_{SM} は1画素の最大信号周波数である。典型値 $f_R \approx 5$ GHz, $f_{SM} \approx 1$ MHz, $Q_T \approx 5 \times 10^3$ を代入し、 $\delta f_R / \Delta f_R \approx 1/20$ を得る。すなわち、 f_c を δf_R 域外に設計すれば、構造起因の共振はSQUID動作に影響しない。

謝辞 科研JP18H01260, JST-CREST JPMJC17N4

文献 [1] D. Bennet et al., IEEE TAS, **25**, 2101405 (2015).

[2] K. Enpuku et al., J. Appl. Phys., **71**, 2338 (1992).

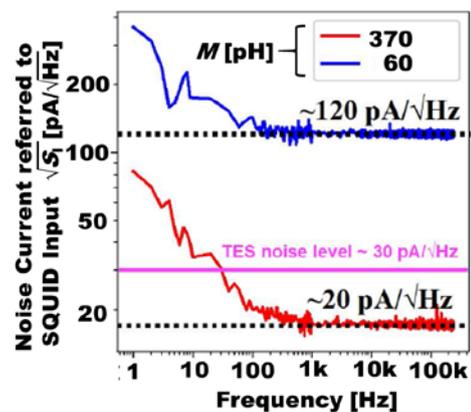


Fig. 2 Spectral density of current noise $\sqrt{S_1}$ with $M=60$ and 370 pH. Pink line denotes noise of a transition edge sensor fabricated in JAXA.